

Avril 2023

Suivi Environnemental ICPE

PARC ÉOLIEN DE BOURBRIAC

COMMUNE DE BOURBRIAC (22)

ANNÉE DE SUIVI 1

Maître d'ouvrage

Parc éolien Bourbriac SAS

Étude réalisée par :

Laëtitia VIBERT

Elodie LE QUELLEC

Nicolas WAESSEM

Dans le cadre de l'article 9 de l'arrêté ICPE du 22 juin 2020 modifiant les prescriptions de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011, relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, les exploitants des parcs éoliens doivent tenir à disposition de l'inspection des ICPE un suivi environnemental.

Pour chaque parc éolien, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé des suivis suivants :

- Suivi de l'activité des chiroptères
- Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères

Le bureau d'études ENCIS Environnement a été missionné par la société Energiequelle pour réaliser ce suivi environnemental ICPE pour la première année du parc éolien de Bourbriac, après la mise en exploitation du parc de Bourbriac en mars 2022.

Après avoir précisé la méthodologie utilisée et ses limites, ce dossier présente les résultats des différents suivis.

SOMMAIRE

1	Cadre général de l'étude	6
1.1	Maître d'ouvrage – exploitant	8
1.2	Auteurs de l'étude	8
1.3	Présentation du parc éolien étudié.....	9
1.4	Cadre règlementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens	11
1.5	Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel	12
1.5.1	Avifaune	12
1.5.2	Chiroptères.....	18
2	Méthodes utilisées	34
2.1	Méthodologie et démarche générale	36
2.2	Suivi d'activité des chiroptères	38
2.2.1	Objectif et paramètres à prendre en compte.....	38
2.2.2	Méthodologie et pression d'inventaire.....	38
2.3	Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères	44
2.3.1	Principes et objectif	44
2.3.2	Protocole utilisé	45
2.3.1	Détermination du statut biologique	47
2.3.2	Méthodes d'estimation de la mortalité	47
2.4	Calendrier des inventaires	53
2.5	Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées	54
2.5.1	Limites des méthodes employées.....	54
2.5.2	Difficultés rencontrées	55
3	Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères	56
3.1	Bilan des connaissances de l'étude d'impact	58
3.2	Suivi de l'activité des chiroptères en 2022.....	61
3.2.1	Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle	61
3.2.2	Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle	71
3.3	Bilan et comparaison avec l'étude d'impact	72
3.3.1	Diversité spécifique	72
3.3.2	Activité recensée.....	73
3.4	Principaux éléments à retenir du suivi ICPE	74
4	Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	75
4.1	Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation.....	77
4.1.1	Durée moyenne de l'intervalle.....	77
4.1.2	Efficacité du chercheur	77
4.1.3	Persistance des cadavres	77
4.1.4	Surfaces prospectées et correction surfacique.....	78
4.2	Mortalité de l'avifaune.....	80
4.2.1	Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien	80
4.2.2	Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	84
4.2.3	Résultats globaux du suivi de la mortalité sur l'avifaune en 2022.....	85
4.2.4	Résultats saisonniers	86
4.2.5	Résultats spatialisés par éolienne	87

4.2.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	88
4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune	89
4.2.8 Synthèse	90
4.3 Mortalité des chiroptères	91
4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien	91
4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	96
4.3.3 Résultats globaux du suivi de la mortalité sur les chiroptères en 2022	97
4.3.4 Résultats saisonniers	99
4.3.5 Résultats spatialisés par éolienne	99
4.3.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	101
4.3.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères	102
4.3.8 Synthèse	105
5 Mesures correctrices.....	107
Table des illustrations	110
Bibliographie	113
Annexes.....	123




1 Cadre général de l'étude

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant

Destinataire	Parc éolien Bourbriac SAS
Adresse	Val d'Orson - Rue du Pré Long 35770 Vern-sur-Seiche
Interlocuteur	P&T technologie – Julien Leon
Téléphone	02 99 36 77 40

1.2 Auteurs de l'étude

Structure	
Adresse	21 Rue de Columbia 87 068 LIMOGES
Téléphone	05 55 36 28 39
Coordination de l'étude	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de l'agence de Nantes
Suivi de l'activité des chiroptères	Nicolas WAESSEM, Responsable d'études - Chiroptérologue
Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	Laëtitia VIBERT – Écologue
Rédaction du rapport	Laëtitia VIBERT – Écologue Elodie LE QUELLEC - Chargée d'études, Écologue
Correction	Maxime PIRIO, Responsable d'études, Ornithologue
Validation	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de l'agence de Nantes
Version / date	Avril 2023

Implantées dans un secteur à dominante agricole, malgré la présence de nombreux boisements et de haies, les trois éoliennes et leurs plateformes se situent sur un promontoire, et dans des parcelles cultivées (carte suivante).



Carte 2 : Localisation du parc éolien de Bourbriac sur photographie aérienne

1.4 Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens

Création ou extension d'un parc éolien

L'arrêté du 26 août 2011, dans son article 12, précise pour une installation classée ICPE :

« L'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du préfet, ce suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et chiroptères susceptibles d'être présents. Dans le cas d'une dérogation accordée par le préfet, le suivi doit débuter au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation. Ce suivi est renouvelé dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. A minima, le suivi est renouvelé tous les 10 ans d'exploitation de l'installation. Le suivi mis en place par l'exploitant est conforme au protocole de suivi environnemental reconnu par le ministre chargé des installations classées. Les données brutes collectées dans le cadre du suivi environnemental sont versées, par l'exploitant ou toute personne qu'il aura mandatée à cette fin, dans l'outil de téléservice de " dépôt légal de données de biodiversité " créé en application de l'arrêté du 17 mai 2018. ».

Ce suivi doit également être conforme aux dispositions applicables aux ICPE relatives à l'étude d'impact. Ainsi, l'article R122-14 du code de l'environnement prévoit que : « - La décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution du projet mentionne :

1° Les mesures à la charge du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage, destinées à éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités et, lorsque cela est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits ;

2° Les modalités du suivi des effets du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;

3° Les modalités du suivi de la réalisation des mesures prévues au 1° ainsi que du suivi de leurs effets sur l'environnement, qui font l'objet d'un ou plusieurs bilans réalisés selon un calendrier que l'autorité compétente pour autoriser ou approuver détermine. Ce ou ces bilans sont transmis pour information par l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution à l'autorité administrative de l'État compétente en matière d'environnement. »

En novembre 2015, l'État a publié un protocole standardisé permettant de réaliser les suivis environnementaux. Il guide également la définition des modalités du suivi des effets du projet sur l'avifaune et les chiroptères prévu par l'article R.122-14 du code de l'environnement. Ce protocole a été actualisé en 2018.

1.5 Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel

1.5.1 Avifaune

1.5.1.1 Perte d'habitat liée à l'effarouchement par les éoliennes

La perte d'habitat par effarouchement résulte d'un **comportement d'éloignement des oiseaux autour des éoliennes** en mouvement. Selon les espèces, cet éloignement s'explique par une méfiance instinctive du mouvement des pales et de leur ombre portée. Ce **dérangement répété** peut conduire à une **perte durable d'habitat**. La perturbation peut avoir des conséquences faibles si le milieu concerné est commun et qu'il existe



d'autres habitats similaires aux alentours. La perturbation peut cependant être importante, particulièrement lorsque les espèces sont inféodées à un habitat particulier et que cet habitat est rare dans le secteur du site d'implantation. L'habitat affecté peut aussi bien concerner une zone de reproduction qu'une zone d'alimentation, et ce pendant toutes les phases du cycle biologique des oiseaux (reproduction, migration, hivernage).

Certains oiseaux s'adaptent facilement en s'habituant progressivement aux éoliennes dans leur entourage, d'autres sont très farouches. Le degré de sensibilité varie selon les espèces et le stade phénologique concerné.

L'analyse des résultats de 127 études portant sur les impacts des éoliennes sur la biodiversité (Hötter *et al.*, 2006) illustre ces différences interspécifiques, intraspécifiques et phénologiques. L'étude indique notamment que les distances d'évitement sont moins importantes en période de reproduction qu'en dehors de cette dernière. Par exemple, il est mentionné une distance d'évitement de 113 mètres pour le Canard colvert en période de reproduction, contre 200 mètres hors période de reproduction (valeurs médianes). Cette distance d'évitement est de 300 mètres pour la Barge à queue noire en période de reproduction, ainsi que pour le Canard siffleur et la Bécassine des marais hors période de reproduction (valeurs médianes). D'autres espèces apparaissent moins sensibles à l'effarouchement, comme le Pipit farlouse et la Bergeronnette printanière (respectivement 0 et 50 mètres en période de reproduction, valeurs médianes) ou encore le Faucon crécerelle et le Héron cendré (respectivement 0 et 30 mètres hors période de reproduction, valeurs médianes). Le site internet du programme national « éolien-biodiversité » créé à l'initiative de l'ADEME¹, du MEEDDM², du SER-FEE³ et de la LPO⁴, évoque une **distance d'éloignement variant de quelques dizaines de mètres jusqu'à 400-500 mètres du mât de l'éolienne en fonctionnement**. Selon la même source, certains auteurs témoignent de distances maximales avoisinant 800 à 1 000 mètres.

¹ Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

² Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du développement Durable et de la Mer

³ Syndicat des Énergies Renouvelables – France Éolienne

⁴ Ligue de Protection des Oiseaux

L'accoutumance des oiseaux aux éoliennes est toujours discutée, les données étant parfois contradictoires pour une même espèce.

Hivernants et migrants

Peu de suivis post-implantation se sont penchés sur les réponses comportementales des groupes de passereaux hivernants ou en halte migratoire face à la présence d'éoliennes. La bibliographie est parfois contradictoire. En Vendée, malgré les difficultés à appréhender le rôle des aérogénérateurs, après l'implantation du parc de Bouin (Dulac, 2008), certaines espèces semblent toujours fréquenter le secteur sans évolution significative de la taille des groupes (Étourneau sansonnet, Alouette des champs, Pigeon ramier, etc.) ; alors que pour d'autres espèces, une diminution du nombre d'oiseaux par groupe a été constatée (Hirondelle rustique). De même, à Tarifa, Janss (2000) n'a pas montré de différence de densité des groupes hivernants de Pipit farlouse, de Linotte mélodieuse et de Chardonneret élégant.

Pour les espèces de petite et moyenne tailles, Hötter *et al.*, 2006, semblent confirmer un effet faible lié à la perte d'habitat, et indiquent une distance d'évitement nulle pour l'Alouette des champs, l'Étourneau sansonnet et la Corneille noire et de 100 mètres pour le Pigeon ramier (valeurs médianes, hors période de reproduction).

En revanche, en hiver, pour certaines espèces de moyenne taille, Pratz (2010) indique que les groupes semblent rester à l'écart par rapport aux éoliennes et ne traversent que très rarement les parcs denses ou en éventail (Pigeon ramier, Pluvier doré, Vanneau huppé ; parcs de Beauce).

Nicheurs

La bibliographie s'intéressant à la méfiance des oiseaux vis-à-vis des éoliennes semble montrer que **les nicheurs de petites et moyennes tailles sont moins gênés par la présence des éoliennes que les oiseaux migrants ou hivernants**. Plusieurs auteurs témoignent d'une accoutumance des individus locaux à la présence de ces nouvelles structures (Dulac, 2008 ; Albouy, 2005). Faggio *et al.* (2003) indiquent une indifférence totale vis-à-vis des éoliennes pour les espèces locales ou nicheuses qui restent en permanence près du sol comme la Fauvette sarde et la Perdrix rouge.

La densité des oiseaux peut également être affectée. Les travaux de Pearce-Higgins *et al.*, (2009), concernant neuf parcs éoliens au Royaume-Uni, suggèrent que les densités d'oiseaux nicheurs peuvent être réduites de 15 à 53 % dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes (espèces les plus touchées : Buse variable, Busard Saint-Martin, Pluvier doré, Bécassine des marais, Courlis cendré et Traquet motteux).

Espèces des milieux aquatiques

Les oiseaux d'eau peuvent s'avérer farouches vis-à-vis de la présence des éoliennes. Hors période de reproduction, selon Hötter *et al.*, (2006), les anatidés (canards, oies, cygnes) se maintiennent parfois à distance des mâts. Cet éloignement a été estimé **entre 125 et 300 mètres vis-à-vis du mât (valeurs médianes)**. Il est à noter que l'importance des écarts types révèle la disparité des comportements intraspécifiques. Ces différences peuvent être liées à la configuration du site (nombre et hauteur des éoliennes, agencement, paysage), et à la capacité d'adaptation des oiseaux à la présence des éoliennes. À titre d'exemple, des études ont mis en évidence des signes d'accoutumance (diminution

des distances d'évitement) pour le Canard colvert et la Foulque macroule, des signes de non-accoutumance (augmentation des distances d'évitement) pour le Courlis cendré, voire les deux types de comportement pour le Vanneau huppé (Hötter *et al.*, 2006).

Une capacité d'accoutumance des oiseaux d'eau nicheurs à la présence des éoliennes dans leur environnement a également été documentée (Dulac, 2008), notamment chez le Canard colvert (Roux *et al.*, 2013). Toutefois, les échassiers et les oiseaux aquatiques seraient plus sensibles à ces perturbations indirectes par perte ou modifications d'habitats que d'autres (Gaultier *et al.* 2019). Roux *et al.* (2013) ont ainsi constaté l'abandon total d'une héronnière située à proximité d'une éolienne et une forte diminution du nombre de couples installés dans une autre située à 250 mètres d'un parc éolien.

Enfin, certaines espèces semblent particulièrement sensibles, comme le Courlis cendré, dont la distance d'évitement en période de reproduction est évaluée à 800 mètres (Pearce-Higgins *et al.*, 2009).

Compte-tenu des résultats décrits précédemment, et notamment des variations intraspécifiques importantes, il est difficile de généraliser le phénomène d'accoutumance. Par ailleurs, il faut souligner que cette habitude se fait au prix d'un risque accru de collision avec les éoliennes (Gaultier *et al.*, 2019).

1.5.1.2 Effet barrière et contournement

L'effet barrière correspond à des **réactions de contournement des éoliennes lors des vols** des oiseaux. Les parcs éoliens peuvent représenter une barrière **aussi bien pour les oiseaux en migration active que pour les oiseaux en transit quotidien** entre les zones de repos et les zones de gagnage. L'effet barrière dépend de la sensibilité des espèces, de la configuration du parc éolien, de celle du site, et des conditions climatiques.

La **réaction d'évitement** a l'avantage de **réduire les risques de collision** pour les espèces sensibles lorsque les conditions de visibilité sont favorables. En revanche, elle pourrait générer une **dépense énergétique supplémentaire notable pour les migrants** lorsque le contournement prend des proportions importantes (effet cumulatif de plusieurs obstacles successifs) ou quand, pour diverses raisons (mauvaises conditions météorologiques, relief, etc.), la réaction est tardive à l'approche des éoliennes (mouvements de panique, demi-tours, éclatement des groupes, etc.).

Pour les oiseaux **nicheurs ou hivernants**, un parc formant une **barrière entre une zone de reproduction/de repos et une zone d'alimentation** peut conduire, selon la sensibilité des espèces, à une **augmentation du risque de collision voire une perte d'habitat** (abandon de la zone de reproduction ou de la zone de gagnage).

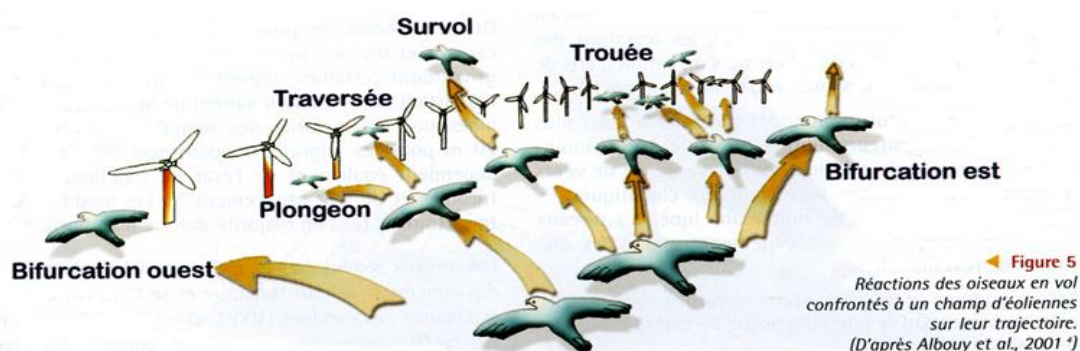


Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001)

Les espèces qui sont **le plus susceptibles d'être affectées par l'effet barrière sont les espèces de grande taille**, qui se déplacent à des altitudes relativement élevées (notamment à hauteur de pales) et dont le rayon d'action est vaste. Les effets semblent être **plus importants pour les rapaces, les échassiers** (Héron cendré), les **canards et les columbidés** (Pigeon ramier). Toutefois, Hötter *et al.*, (2006), indique un effet barrière chez les oies, les rapaces et les passereaux (hors Étourneau sansonnet et Corvidés). Par exemple, un effet barrière a ainsi été noté chez la Grue cendrée (cinq études), le Milan noir (quatre études), le Milan royal (trois études), le Busard des roseaux (quatre études), le Busard Saint- Martin (une étude), l'Oie cendrée (deux études), le Pinson des arbres (trois études) ou encore l'Hirondelle rustique (quatre études).

D'après le programme national « éolien-biodiversité » (LPO-ADEME-MEDDE-SER/FEE), les **anatidés (canards, oies, etc.) et les pigeons semblent assez sensibles à l'effet barrière, alors que les laridés (mouettes, sternes, goélands) et les passereaux le sont beaucoup moins**. Faggio *et al.* (2003) ont ainsi observés que seulement 22,5 % des oiseaux de petite envergure et 16,3 % des oiseaux de moyenne envergure avaient un comportement d'évitement face aux éoliennes (évitement par-dessus, par-dessous, ou sur le côté).

Les réactions des espèces sont difficilement généralisables, car il existe des espèces pour lesquelles certaines études ont montré un effet barrière, tandis que d'autres ont mis en évidence l'absence d'un tel effet (Buse variable, Héron cendré, etc., Hötter *et al.*, 2006).

Les réponses comportementales face à un parc éolien dépendent de l'espèce, des habitats présents au sein et autour du parc et surtout du nombre et de la disposition des éoliennes (espacements entre les éoliennes, hauteur, etc.). À titre d'exemple, sur le site de Bouin (Dulac, 2008), l'éloignement d'un peu plus de 200 mètres entre chaque éolienne, laissant un passage de plus de 100 mètres de libre (abstraction faite des espaces de survol des pales) semble provoquer une diminution du nombre de passages d'oiseaux au niveau des éoliennes. Cependant, cette diminution ne concerne que certaines espèces (Tadornes de Belon, Canard colvert, Bergeronnette grise, Pipit farlouse, Faucon crécerelle) et d'autres ne semblent pas affectées, comme la Mouette rieuse et l'Étourneau sansonnet. Pour autre exemple, la distance d'évitement de la Buse variable est courte : environ 25 mètres hors période de reproduction (valeur médiane, Hötter *et al.*, 2006).

Albouy *et al.* (2001) ont montré que toutes les espèces, quelle que soit leur taille, peuvent être « dérangées » par la présence des éoliennes (88 % des individus ont réagi en adaptant leur trajectoire). Également, les auteurs indiquent que **la distance d'anticipation dépend de la taille des migrants**.

Ainsi, les **passereaux et les rapaces de petite taille réagissent généralement à 100-200 mètres en amont** du parc, tandis que les **grands rapaces et grands échassiers s'adaptent souvent au-delà de 500 mètres**. Marques *et al.*, (2020), ont montré un effet négatif des éoliennes pour les Milans noirs en migration, avec une diminution de la fréquentation des habitats dans un rayon d'environ 674 mètres autour des mâts (ce qui correspond à une surface de 143 hectares par éolienne). Le programme national « éolien-biodiversité » (LPO-ADEME-MEDDE-SER/FEE) signale que les Grues cendrées adoptent un comportement d'évitement du parc entre 300 et 1 000 mètres de distance.

L'orientation des alignements d'éoliennes a une influence sur les comportements des migrateurs qui abordent un parc éolien. Une **ligne d'éoliennes parallèle à l'axe de migration principal provoque moins de modifications** de comportement **qu'une ligne perpendiculaire aux déplacements**. Par exemple, sur le plateau de Garrigue Haute (Albouy *et al.*, 2001), les cinq éoliennes du parc de Port-la-Nouvelle, implantées perpendiculairement à l'axe de migration, provoquent cinq fois plus de réactions de traversée que les dix éoliennes du parc de Sigean, implantées parallèlement à cet axe. En outre, les auteurs ont montré qu'un espace d'environ **200 mètres entre deux éoliennes semble suffisant** au passage des **passereaux et des rapaces de petite et moyenne envergure** (faucons, éperviers, milans, Bondrée apivore) mais **trop faible pour les oiseaux de plus grande envergure comme les cigognes ou le Circaète Jean-le-Blanc** (aucun de ces derniers n'a été observé utilisant cet espace). Également, Roux *et al.*, (2013) ont constaté que des éoliennes implantées parallèlement au couloir de migration ne semblaient pas faire barrière aux mouvements des migrateurs. La littérature recommande de **limiter l'emprise du parc sur l'axe de migration, dans l'idéal à moins de 1 000 mètres** (Soufflot *et al.*, LPO, 2010 ; Marx *et al.*, LPO, 2017). Lorsque cette préconisation ne peut être respectée, il est recommandé d'aménager des **trouées de taille suffisante pour laisser des échappatoires aux migrateurs**. Soufflot *et al.*, (2010) évaluent la **distance minimale d'une trouée à 1 000 mètres** (1 250 mètres dans l'idéal, sans distinction du sens d'implantation des éoliennes). Ces mêmes auteurs recommandent également **d'exclure les croisements de lignes d'éoliennes** (configuration en croix, en « Y » ou en « L »).

Selon Gaultier *et al.*, (2019), l'impact de l'effet barrière sur les oiseaux migrateurs est encore difficile à évaluer et nécessiterait des travaux de recherche spécifiques.

1.5.1.3 Risque de collision

La mortalité des oiseaux peut résulter de collisions avec les pales ou avec la tour de la nacelle. Les petits passereaux pourraient également subir des barotraumatismes et être projetés au sol par les turbulences créées par la rotation des pales (Gaultier *et al.*, 2019). Il faut également noter qu'un faible taux de mortalité peut générer des incidences écologiques notables, pour les espèces menacées et pour les espèces à maturité lente et à faible productivité annuelle (Gaultier *et al.*, 2019).

Les différentes espèces interagissent différemment face à un parc éolien. Les espèces plus sensibles à l'effarouchement (limicoles, anatidés, grues, aigles, etc.), plus méfiantes vis-à-vis des éoliennes en mouvement, sont par conséquent moins sensibles au risque de collision. Les **espèces moins farouches seront potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision** avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.).

Les **rapaces, les laridés et les passereaux migrateurs nocturnes** sont **généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision** avec les turbines (Soufflot, 2010).

Certaines situations peuvent accroître les risques de collision avec les pales. Les principaux critères sont le **nombre d'éoliennes, leur taille, la configuration du parc** (cf. chapitre précédent sur l'effet barrière et le contournement), **le contexte paysager, les hauteurs et types de vol des espèces, le comportement de chasse pour les rapaces et les phénomènes de regroupement pour les espèces en migration**, principalement pour les migrateurs nocturnes. De même, les **conditions météorologiques défavorables (brouillard, nuages bas, vent fort)**, constituent des situations à risque.

Certains rapaces, en particulier **les espèces à tendance charognarde** tels les milans, la Buse variable ou encore les busards peuvent être **attirés sur les parcelles cultivées lors des travaux agricoles** (notamment la fauche des prairies au printemps et les moissons en été) et par **l'ouverture des milieux** liée au défrichement.



Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.

©Encis Environnement

Pendant les **migrations**, les collisions semblent survenir **plus particulièrement la nuit**. Les espèces qui ne migrent que de jour (rapaces, cigognes, fringilles, etc.) sont souvent capables d'adapter leurs trajectoires à distance. En effet, Albouy *et al.* (2001) ont observé que **88 % des oiseaux changent leur trajectoire à la vue des éoliennes**. Ces comportements d'anticipation participent à la réduction des situations à risque.

1.5.2 Chiroptères

1.5.2.1 Généralités

Notion et tendance de population chez les chiroptères

Les chiroptères sont des espèces dites longévives présentant une longévité élevée, une maturité sexuelle tardive et un taux de reproduction faible avec un petit par an expliquant un très faible taux d'accroissement des populations (Culina *et al.* 2019, Kerbiriou *et al.* 2015b, Froidevaux *et al.* 2017). L'état des populations de chiroptères est encore mal connu mais le maintien de ces dernières repose sur la survie des adultes (Diffendorfer *et al.* 2015, Lentini *et al.* 2015, Culina *et al.* 2019). Bien que l'estimation des populations soit complexe à surveiller et que la taille des populations soit encore loin d'être connue, les paramètres démographiques et, par conséquent, le potentiel impact des décès sur la viabilité des populations de chauves-souris est un paramètre important à prendre en compte (Lenhert *et al.* 2014, Ellison *et al.*, 2013).

Des études récentes au niveau national présentent différents patterns avec des tendances à l'augmentation pour la Barbastelle d'Europe, le Grand Murin, le Grand Rhinolophe, le Murin à oreilles échancrées, le Petit Rhinolophe, la Pipistrelle de Kuhl et le Rhinolophe euryale, et à l'inverse, des tendances à la diminution pour le Minioptère de Schreibers, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, le Petit Murin, la Pipistrelle commune et la Sérotine commune (Tapeiro *et al.* 2017, SFEPM 2016a, Bas *et al.* 2020). Globalement, la tendance de population au niveau national sur l'ensemble des espèces de chiroptères est en diminution entre 2006 et 2018 (Bas *et al.* 2020).

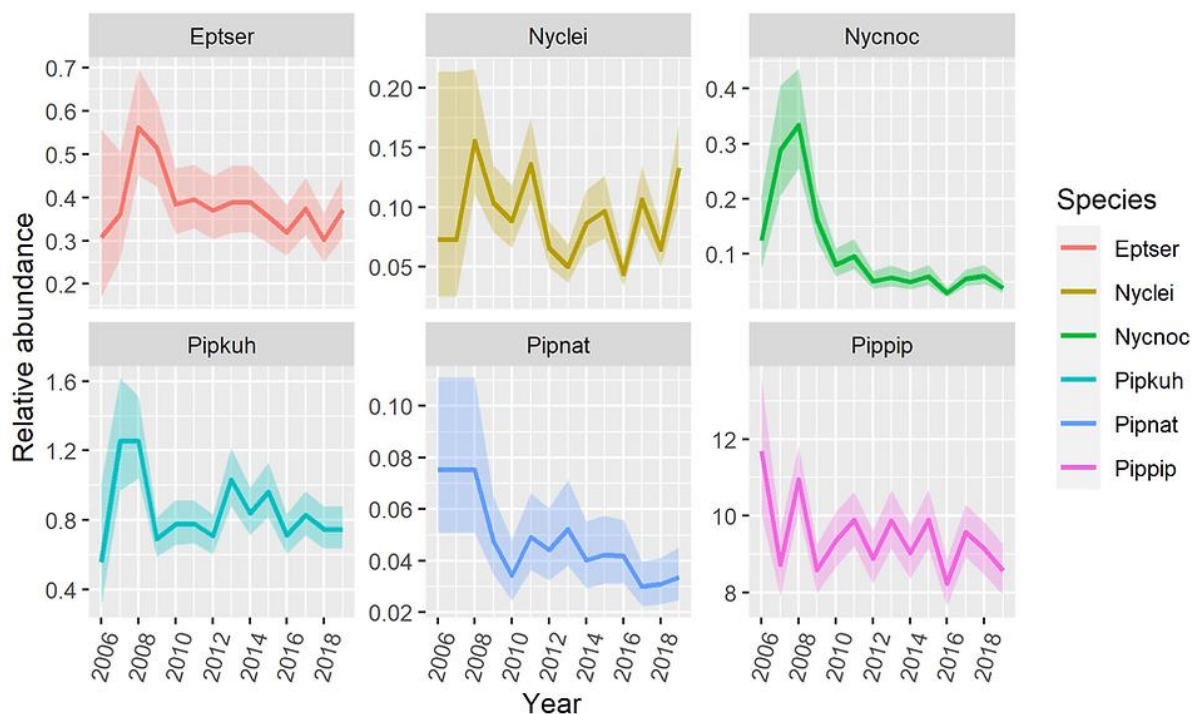


Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas *et al.* 2020)

Impacts de l'éolien sur les chiroptères

La présence d'éoliennes en fonctionnement peut avoir deux types de conséquence sur les chiroptères :

- **la perte d'habitat** (abandon de certaines zones de chasse, de transit et/ou d'habitat de gîte),
- **la mortalité** (collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, etc.).

1.5.2.2 Perte et/ou altération d'habitat

Perte directe ou destruction d'habitats

Le premier impact en termes de perte d'habitat, est la destruction directe d'habitats de gîte, de chasse ou de déplacement. Ainsi, une destruction directe d'habitat est principalement impactante pour les espèces locales, notamment sur des habitats favorables aux chiroptères comme les boisements de feuillus ou mixte ou les haies (Barataud *et al.* 2019, Kelm *et al.* 2014, Eurobats 2017).

La perte d'habitat de gîte envisagée est la destruction d'arbres pouvant héberger différentes espèces de chiroptères. Les habitats privilégiés par les chauves-souris arboricoles sont généralement les forêts de feuillus matures et les arbres creux ou sénescents qu'ils soient au sein de boisements ou de haies (Kusch & Schotte 2007, Averbach *et al.* 2015, Peste *et al.* 2015). Ainsi, la perte de gîtes, surtout dans les secteurs où ils sont rares, aura un impact plus grand que des modifications d'habitats de chasse ou de transit (Brinkmann *et al.* 2011, Amorim *et al.* 2012).

Les pertes directes d'habitats de chasse et de déplacement auront pour conséquences un abandon du territoire de nourrissage, et/ou un changement de voies de déplacement, entraînant des conséquences similaires aux dérangements (phénomène détaillé dans les parties suivantes).

Dérangement par altération de la qualité de l'habitat de chasse

Plusieurs études relatent une modification de l'activité des chiroptères liée aux éoliennes. Ainsi, l'activité des chauves-souris est plus faible au niveau des éoliennes qu'au niveau de sites témoins, et est également liée au fonctionnement de la machine et à la proximité des éoliennes entre elles (Millon *et al.* 2018, Minderman *et al.* 2012, Minderman *et al.* 2017, Cryan *et al.* 2014a). Ce dérangement semble impacter plus fortement les chiroptères locaux, notamment avec des observations d'évitement plus marquées de mai à juillet que chez les migrants (Millon *et al.* 2015, Lehnert *et al.* 2014). Ce même dérangement apparaît également être effectif lors des différentes saisons du cycle biologique des chiroptères (Schaub *et al.* 2008, Stone *et al.* 2009, Parsons *et al.* 2003, Thomas 1995).

Cette altération de l'habitat de chasse provoque un impact au niveau des ensembles végétaux ainsi qu'au niveau local et plus particulièrement en fonction de la proximité des haies (Millon *et al.* 2015, Barré *et al.* 2018).

Ce type de dérangement touche de multiples espèces de chiroptères, qu'elles soient soumises ou non aux risques de collision avec l'éolien. C'est le cas notamment pour la Barbastelle d'Europe, les murins sp., la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune et les oreillards sp. (Roemer *et al.* 2017, Roekele *et al.* 2016, Barré *et al.* 2018).

Certaines études relèvent également la possibilité d'abandon des zones de chasse des espèces les plus sensibles aux ultrasons émis par les éoliennes, à l'instar de la Séroline commune (Bach 2001, 2002 et 2003 ; Bach & Rahmel 2004). L'étude la plus récente sur le sujet (Brinkmann *et al.* 2011) indique qu'une perte d'habitat ou un évitement de la zone concernée pourrait avoir lieu à cause de ces émissions d'ultrasons.

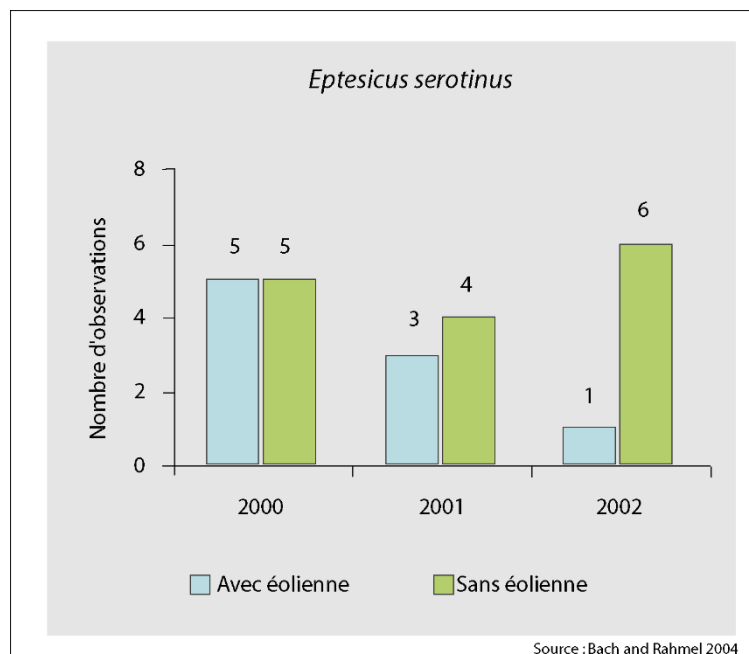


Figure 3 : Diminution de l'activité de la Séroline commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004)

Perte des voies de migration ou des corridors de déplacement

Les chauves-souris sont en partie des espèces migratrices parfois sur de longues distances comme la Pipistrelle de Nathusius ou la Noctule commune (Hutterer *et al.* 2005, Arthur et Lemaire 2015). Ces espèces migratrices, après avoir reconstitué leurs réserves alimentaires à la sortie de l'hibernation, migrent dès le printemps vers des zones où elles passent l'été, pour ensuite revenir hiberner sur la zone initiale par une deuxième migration en fin d'été et début d'automne (Dechmann *et al.* 2014, Dechmann *et al.* 2017).

Bien que les voies de migration chez les chiroptères soient encore assez mal connues, certaines études relatent des axes importants au niveau du littoral et des vallées fluviales, à la fois pour des espèces migratrices de longue distance que pour les espèces régionales (Jamin *et al.* 2020, Kunz *et al.* 2007b, Cryan *et al.* 2014b, Hayes *et al.* 2019b, Furmankiewicz & Kucharska 2009, Telleria *et al.* 2009, Cryan *et al.* 2011). Ainsi, le dérangement des chiroptères sur les voies de migration peut impacter les chiroptères sur de longues distances en créant des « effets barrières » (Voigt *et al.* 2012, Brinkmann *et al.* 2011). À noter cependant que les espèces migratrices semblent moins sensibles aux dérangements par les parcs éoliens que les individus locaux (Million *et al.* 2015, Lehnert *et al.* 2014).

Parallèlement, à la perte de voies de migration, il existe une perte de corridors de déplacement à l'échelle locale. Cette dernière est également susceptible de provoquer un abandon de gîtes pouvant engendrer une augmentation des dépenses énergétiques due à l'évitement des parcs et à la modification des corridors (Bach *et al.* 2003, Dubourg-Savage 2005). De nombreuses espèces sont ainsi susceptibles

d'être impactées par la modification des corridors de déplacements locaux (Barré *et al.* 2018, Roemer *et al.* 2017, Roেকেle *et al.* 2016).

1.5.2.3 Mortalité directe et indirecte

Il existe de multiples causes de mortalité chez les chiroptères au niveau mondial comme le « White-Nose Syndrome », les mortalités intentionnelles, les accidents, les mortalités biotiques et abiotiques, etc., dans lesquelles l'éolien affiche une assez forte proportion (O'Shea *et al.* 2016).

Dans le cadre de l'éolien, la mortalité des chauves-souris peut être liée à différents facteurs : collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, etc.

La mortalité par contact direct ou indirect avec les aérogénérateurs reste l'impact le plus significatif des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann *et al.* 2011). Ces collisions ont pour conséquence des blessures létales ou sublétales (Grodsky *et al.* 2011).

Un état des lieux des connaissances avec une analyse approfondie de nombreuses publications scientifiques a été mené sur la base de synthèses bibliographiques récentes sur le sujet (Gaultier *et al.* 2019, Schuster *et al.* 2015). Cet état des connaissances sert ainsi de base à l'argumentaire suivant.

Mortalité directe et indirecte

La **mortalité directe** est le type de mortalité le plus évident résultant de la collision directe des chauves-souris avec les pales des éoliennes en rotation (Arnett *et al.* 2005, Horn *et al.* 2008).

Parallèlement, d'autres cas de mortalité cette fois-ci **indirecte** sont documentés.

Lors de la rotation des pales, s'opère un phénomène de pression/décompression entre les pales et le mât. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité, ce phénomène est nommé barotraumatisme. Dans une étude réalisée au Canada (Baerwald *et al.* 2008), 92 % des cadavres retrouvés sous les éoliennes présentaient, après autopsie, les caractéristiques d'un barotraumatisme (hémorragie interne dans la cage thoracique ou la cavité abdominale). Certains auteurs remettent en question l'existence même de ce phénomène (Houck 2012 ; Rollins *et al.* 2012). Grodsky *et al.* (2011) et Rollins *et al.* (2012) soulignent que certains facteurs environnementaux (temps écoulé après le décès, température, congélation des cadavres pour leur conservation) seraient à même de reproduire les critères diagnostiques d'une hémorragie pulmonaire concluant au barotraumatisme.

Trois autres phénomènes sont à relater bien que moins mentionnés dans la littérature scientifique. La rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer un vortex (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.* 2008). De même, les courants d'air créés par la rotation des pales seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité des pales, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al.* 2011). Enfin, Horn *et al.* (2008) ont observé des cas de collision sublétale où des individus percutés par des pales ont continué à voler maladroitement. Ce type de collision aboutissant certainement au décès des

individus en question, ne serait ainsi pas comptabilisé dans les suivis de mortalité opérés dans un rayon proche des éoliennes, puisque les cadavres se trouveraient alors à bonne distance du site.

Facteurs influençant la mortalité

La sensibilité des chiroptères à l'éolien

Il existe une corrélation significative entre les espèces sensibles au risque de collision sur les parcs éoliens, et leurs préférences en termes de hauteur de vol (Roemer *et al.* 2017).

Ainsi parmi les espèces de chiroptères présentes en Europe, deux principaux groupes peuvent être créés :

- **Les espèces se déplaçant et chassant en plein ciel, dites de « haut-vol » (molosse, noctules) et celles de lisières susceptibles d'évoluer régulièrement en hauteur (pipistrelles, minioptères, sérotines).** Ces espèces sont considérées comme particulièrement sensibles au risque de collision (Dürr 2022).
- **Les espèces spécialistes et majoritairement associées aux milieux forestiers, bocagers ou humides, qui, dans la grande majorité de leurs déplacements, restent à proximité des structures arborées et dépassent rarement la canopée (Barbastelle d'Europe, murins sp., oreillards sp., rhinolophes sp.).** Ces espèces présentent un risque de collision avec les éoliennes assez faible (Dürr 2022).

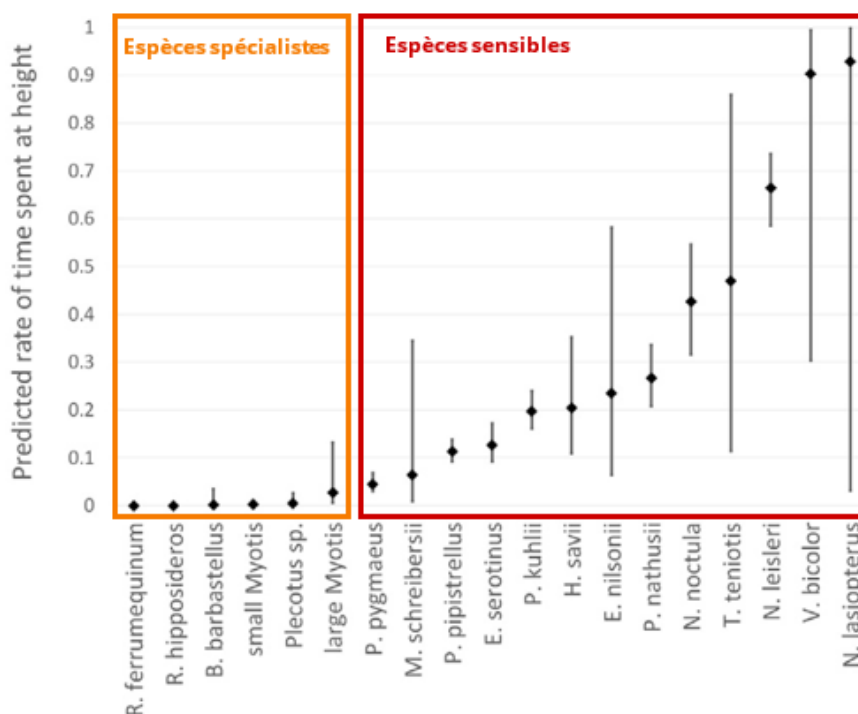


Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer *et al.* 2017).

Les caractéristiques morphologiques et biologiques des chauves-souris

Certaines espèces de chiroptères ont des caractéristiques morphologiques et des spécificités écologiques qui semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.* (2010) ont ainsi démontré les similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces dites glaneuses ou de poursuites de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell *et al.* (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques. Les espèces de haut vol, de grande taille (rythme d'émission lent impliquant un défaut d'appréciation de la rotation des pales), les espèces au vol peu manœuvrable, ainsi que les espèces chassant les insectes à proximité des sources lumineuses (balisage nocturne des éoliennes), sont donc les plus sujettes aux collisions.

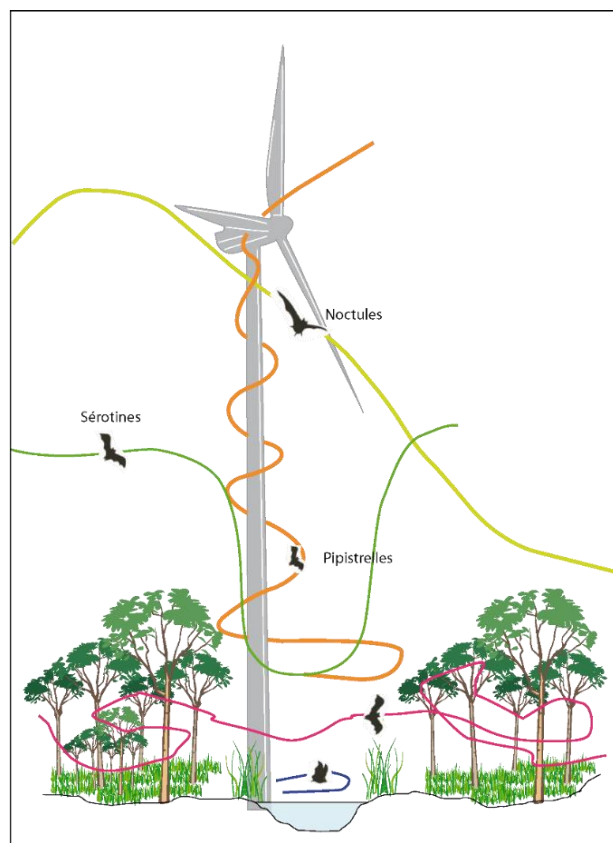


Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vol de chauves-souris à proximité d'une éolienne

La saisonnalité et le comportement des chiroptères

Les chiroptères possèdent un cycle biologique présentant une phase d'hibernation de novembre à février, une phase de migration printanière vers les gîtes estivaux de mars à mai, une phase de mise-bas au sein de ces gîtes de juin à juillet-août, une période de migration vers les secteurs de swarming (accouplements) et vers les gîtes hivernaux d'août à octobre.

Sur l'ensemble de ces saisons, hormis l'hibernation, des cas de mortalité liés aux éoliennes sur des populations locales où migratrices sont observés (Brinkmann *et al.* 2011, Voigt *et al.* 2012). Cependant, la majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la saisonnalité joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique, et donc la mortalité, sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne, ce qui correspond à une période de migration des chauves-souris (Alcalde 2003, Arnett *et al.* 2008, Rydell *et al.* 2010a, Brinkmann *et al.* 2011, Amorim *et al.* 2012, Limpens *et al.* 2013). Des hécatombes de mortalité ont également été relevées au printemps et en début d'été dans le sud de l'Europe (Georgiakakis *et al.* 2012, Beucher *et al.* 2013). Cette observation a ainsi conduit de nombreux auteurs à considérer que la mortalité par collision est intrinsèquement liée au comportement migratoire, et plus particulièrement automnal. Si ce fait est avéré, ce n'est pas seulement le comportement migratoire des chauves-souris qui induirait cette mortalité importante (collisions lors de vols directs), mais plutôt un comportement saisonnier. Les espèces migratrices ne

seraient en fait pas forcément plus touchées que les populations locales (Behr *et al.* 2007 ; Brinkmann *et al.* 2006 ; Rydell *et al.* 2010 ; Voigt *et al.* 2012). Ainsi, Lenhert a mené une étude en 2014 montrant une mortalité supérieure sur les individus locaux (72 %) que sur les individus migrants (28 %) durant la période de migration de la Noctule commune (espèce la plus impactée en Allemagne). Parmi les individus impactés, la proportion de juvéniles est élevée (38 % chez les individus locaux et 32 % chez les migrants), et le sex-ratio est équilibré pour les individus locaux mais montre une majorité de femelles chez les individus migrants (62 %). Ces résultats sur la différence de comportement entre les mâles et les femelles, notamment chez la Noctule, a également été relevée par Roeleke en 2016 avec un évitement plus marqué des mâles au niveau des parcs éoliens que les femelles en période estivale. Ceci possiblement en raison des contraintes énergétiques liées à la lactation, ce qui engendre une augmentation du risque de collision sur les femelles. Selon Cryan et Brown (2007), la période migratoire automnale impliquerait en fait une activité accrue d'individus lors des pauses migratoires destinées à reconstituer les réserves, gîter ou se reproduire, augmentant ainsi le risque de collisions. Le besoin de stocker des réserves énergétiques en vue de l'hibernation serait également la cause d'une activité accrue en automne (Furmankiewicz & Kucharska 2009). De plus, lors des migrations, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach 2001 in Behr *et al.* 2007 ; Johnson *et al.* 2003).

Les conditions météorologiques et le cycle circadien

Les conditions météorologiques influent directement ou indirectement sur la disponibilité en ressource alimentaire (insectes majoritairement pour les chauves-souris européennes) et sur les conditions de vol des chiroptères, donc sur le taux de mortalité par collision (Baerwald & Barclay 2011).

Des analyses menées sur les résultats obtenus lors d'écoutes en hauteur ont montré une relation significative entre les variables de vitesse de vent, de température, d'heure de la nuit et l'activité des chiroptères (Labouré ENCIS Environnement 2021).

Concernant la **vitesse de vent**, Rydell *et al.* (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Selon, Martin *et al.* (2015), la plupart des nuits lors desquelles une mortalité s'est produite (81,5 %), ont eu des vitesses de vent moyennes faibles (≤ 5 m/s mesurées au sol), et toutes les victimes ont été constatées lors de nuits présentant une vitesse moyenne du vent < 10 m/s. Behr *et al.* (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s. Si la plupart des études sur le sujet concordent sur ce phénomène, les valeurs seuils sont variables et dépendantes de la localisation des sites, de la période de l'année et des espèces concernées. Arnett *et al.* (2008) estimèrent pour deux parcs éoliens des Etats-Unis que la mortalité aurait été réduite de 85 % si les aérogénérateurs avaient été arrêtés pour des valeurs de vent inférieures à 6 m/s en fin d'été-début d'automne. À noter cependant que toutes les chauves-souris ne répondent pas de façon similaire à la vitesse de vent. Les espèces de haut-vol apparaissent plus tolérantes aux vitesses de vent supérieures à 7 m/s (Wellig *et al.* 2018, Frick *et al.* 2017, Voigt *et al.* 2015). Enfin, la rotation des pales d'éoliennes avec la vitesse de vent

rend difficile la localisation des chiroptères par écholocation qui n'arrivent pas à percevoir les bouts de pales dont la vitesse est de 100 et 150 m/s (Grodsky *et al.* 2011, Long *et al.* 2009, Rydell *et al.* 2010a).

La **température** joue également un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell *et al.* 2006 ; Arnett *et al.* 2006, 2007 ; Baerwald & Barclay 2011, Voigt *et al.* 2015), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influençant l'activité chiroptérologique (Horn *et al.* 2008 ; Kerns *et al.* 2005). Des études récentes ont cependant permis de mettre en évidence une augmentation marquée de l'activité chiroptérologique entre 10 et 25 °C (Labouré 2021, Behr *et al.* 2017, Heim *et al.* 2016, Martin *et al.* 2015).

L'activité des chiroptères est également corrélée à **d'autres variables météorologiques telles que la pression atmosphérique, l'humidité relative, le taux de précipitation, la couverture nuageuse, le brouillard ou encore le rayonnement lunaire** (Behr *et al.* 2017, Heim *et al.* 2016, Voigt *et al.* 2015, Cryan *et al.* 2014, Limpens *et al.* 2013, Amorim *et al.* 2012, Behr *et al.* 2011, Brinkmann *et al.* 2011, Baerwald & Barclay 2011, O'Donnell *et al.* 2010, Bach & Bach 2009, Horn *et al.* 2008, Kerns *et al.* 2005). Cependant, les opinions sur ces autres paramètres météorologiques sont d'autant plus mitigées. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères ou l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp 2001, Behr *et al.* 2011).

Enfin, le cycle circadien influence également l'activité chiroptérologique et ainsi le risque de collision (ENCIS Environnement, Labouré 2022). Les pipistrelles, noctules et sérotines sont souvent considérées comme des espèces crépusculaires et sont remplacées peu à peu au cours de la nuit par des espèces plus nocturnes à l'instar des barbastelles, murins et oreillards (Barataud, 2012). D'autres études suggèrent un regain d'activité à l'aube (Swift 1980). Les noctules, et plus particulièrement la Noctule commune, affichent ce second pic d'activité en fin de nuit (Kronwitter 1988, Rachwald 1992, Kanuch 2007, Arthur et Lemaire 2015). Ainsi, Behr *et al.* (2017) ont démontré que l'activité des chiroptères est maximale pendant la première moitié de la nuit. Le groupe des noctules (principalement la Noctule commune) est actif avant le coucher du soleil et avant le groupe des pipistrelles. Après le premier quart de la nuit, l'activité commence à diminuer, et diminue continuellement jusqu'au lever du soleil, avec une chute plus forte peu avant le lever du soleil. Parfois, un pic d'activité plus faible a été enregistré en fin de nuit, ce phénomène est principalement dû à l'activité des espèces de noctule. La Pipistrelle de Nathusius, montre un schéma légèrement différent de celui des autres espèces avec une activité culminant au milieu de la nuit. Ces résultats sont régulièrement observés sur les études de l'activité des chiroptères et peuvent varier en fonction de la saisonnalité (Arthur et Lemaire 2015, Newson *et al.* 2015, Labouré 2021).

Ainsi, la mise en place de mesure sur la base des paramètres environnementaux apparaît comme une solution efficace pour diminuer les risques de collisions chez les chiroptères (Behr *et al.* 2017, Good *et al.* 2016, Martin *et al.* 2015, Hein *et al.* 2014).

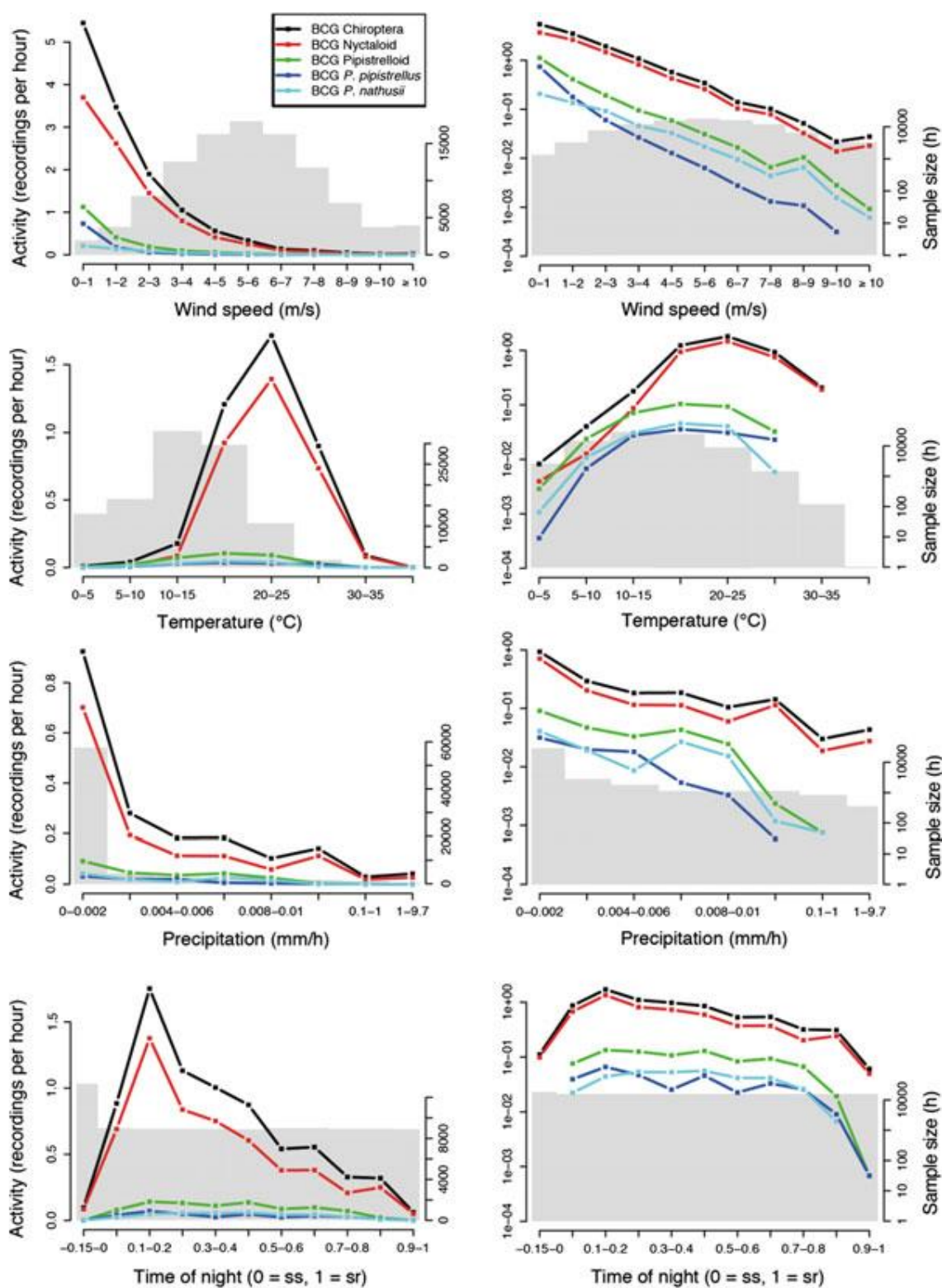


Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al. 2017)

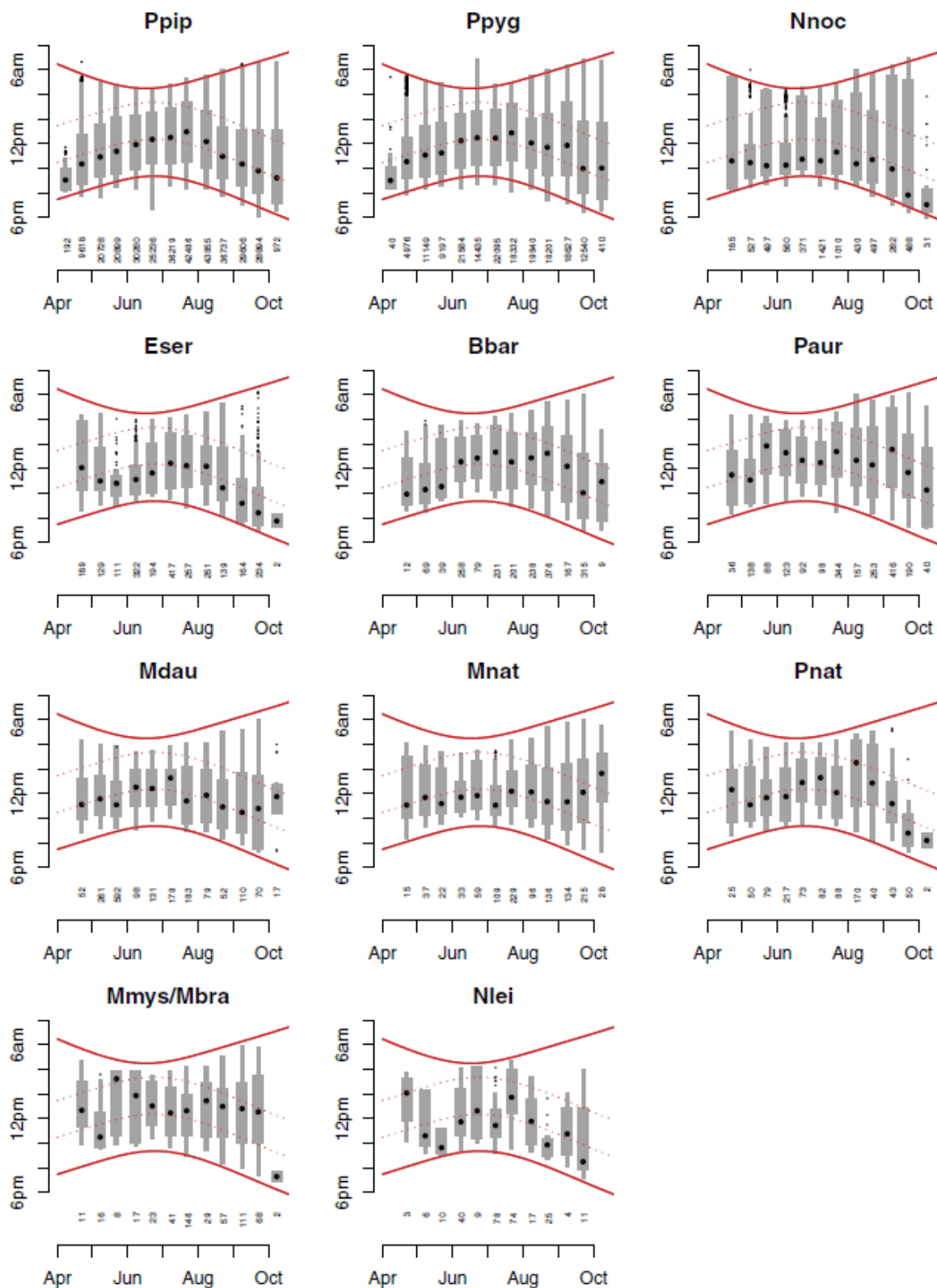


Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al. 2015)

Les type d'habitat

Les habitats présents au niveau des aménagements des parcs éoliens et dans les secteurs environnants influencent le risque de mortalité chez les chiroptères (Brinkmann *et al.* 2011, Hensen 2004, Grindal & Brigham 1998).

Dans un premier temps, une mortalité par destruction d'habitats, et plus particulièrement dans le cas d'abattage d'arbres à cavités pouvant héberger des gîtes de chiroptères arboricole est à relever. Ce premier risque de mortalité est à considérer durant la phase de travaux des aménagements du parc éolien et devient inexistant une fois les éoliennes en exploitation.

Dans un second temps, les habitats présents à proximité des éoliennes influencent les cas mortalités des chauves-souris. Rydell *et al.* en 2010 observent une mortalité de 0 à 3 chiroptères/éolienne/an en openfield, de 2 à 5 chiroptères/éolienne/an en milieu plus hétérogène, et de 5 à 20 chiroptères/éolienne/an sur la côte et en forêt (surtout sur les promontoires et crêtes). Ces résultats sont confirmés par plusieurs études :

- **Concernant les plans d'eau et les côtes**, l'implantation d'éoliennes à proximité de ces habitats représente un fort risque de mortalité sur les chiroptères en raison de l'abondance d'insectes (Ahlen *et al.* 2003, Eurobats 2016).
- **Concernant les secteurs boisés**, une activité chiroptérologique plus élevée est observée, avec une influence significative de la distance aux boisements sur la densité d'espèces de bas et moyen vol (Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl, Sérotine commune) mais les espèces de haut-vol ne semblent pas répondre à cette variable (Pipistrelle de Nathusius, Noctule commune, Noctule de Leisler) (Roemer *et al.* 2019). Mathews *et al.* (2012) montrent également que la présence de bois dans un rayon de 1 500 m de parcs éoliens semble réduire le risque pour les pipistrelles suivant les lisières mais augmente le risque pour les noctules.

Parallèlement, **les haies** (à l'instar des lisières boisées) sont très importantes pour les chiroptères en fonction de leurs qualités et concentrent l'activité (Lacoeuilhe *et al.* 2018, Lacoeuilhe *et al.* 2016, Kelm *et al.* 2014, Boughey *et al.* 2011). Ainsi, l'étude de Kelm *et al.* (2014) présente une activité chiroptérologique concentrée dans les 50 premiers mètres à la haie (85 % des contacts enregistrés) qui devient anecdotique à partir de 200 m, ainsi que des espèces plus proches des haies (murins sp., Pipistrelle commune, Barbastelle d'Europe, Sérotine commune) que d'autres (Noctule commune, Pipistrelle de Nathusius).

Selon des études réalisées en Allemagne (Dürr 2003), plus la distance entre le mât de l'éolienne et les structures arborées avoisinantes (haies, lisières forestières) est faible et plus les cas de mortalité sont fréquents. Ainsi, plusieurs articles scientifiques et doctrines, à différentes échelles, recommandent une distance entre le bout de pale des éoliennes et les canopées des haies et boisements de 50 m (Dürr 2007, Kelm *et al.* 2014, Natural England 2014) jusqu'à 200 m (Eurobats 2017, SFEPM 2016).

- **Concernant les milieux ouverts**, bien que moins attractifs pour la plupart des chiroptères, ces habitats ne sont pas pour autant négligeables, notamment pour les espèces chassant en milieux ouverts comme les noctules et qui présentent un haut risque de collision (Bas *et al.* 2014). Ainsi, même les espaces « défavorables » aux chiroptères comme les grandes plaines agricoles peuvent causer de fortes mortalité (Brinkmann *et al.* 2011).

Quel que soit le milieu d'implantation des éoliennes, il apparaît nécessaire de quantifier l'activité des chiroptères dans ces secteurs et de mettre en place des mesures adaptées pour éviter tout risque de collision (Kelm *et al.* 2014, Boughey *et al.* 2011). En effet, Lintott *et al.* (2016) relèvent le fait que des sites ayant été perçus comme "pauvres" en termes de qualité pour les chiroptères lors des inventaires pré-implantation, peuvent montrer des victimes après la construction des éoliennes. Cela pourrait être lié à un changement de comportement après l'implantation des éoliennes, et qui nécessiterait l'élaboration de stratégies d'atténuation, avec une compréhension du comportement des chauves-souris pouvant différer sur les sites après que les turbines aient été construites.

Le modèle d'éolienne

Parmi les multiples facteurs influençant le risque de mortalité des chiroptères au niveau des parcs éoliens, le modèle d'éolienne choisi a une importance. En effet, plusieurs études se sont intéressées à ce sujet et ont permis de démontrer plusieurs phénomènes :

- **La taille du rotor.** Plus les rotors sont grands plus la mortalité des chiroptères augmente (Arnett *et al.* 2008). En effet, la longueur des pales est le facteur qui influence le plus le risque de collision avec les chiroptères devant la hauteur de nacelle (Mathews *et al.* 2016, Rydell *et al.* 2010a).
- **La garde au sol.** Plus la garde au sol est basse, plus le risque de collision est accru pour les chiroptères. Ainsi, les gardes au sol inférieures à 30 m présentent de fort risque de mortalité pour les chiroptères notamment sur des espèces jusqu'alors peu concernées par ce type d'impact, de par leur hauteur de vol entre autres facteurs (Roemer *et al.* 2017, Heitz *et al.* 2017, Hein *et al.* 2016).
- **La couleur des éoliennes.** Les couleurs blanche et gris clair des éoliennes semblent également influencer la présence d'insectes, et ainsi engendrer d'éventuels comportements de chasse à risque à proximité des éoliennes (Long *et al.* 2011, Kunz *et al.* 2007).

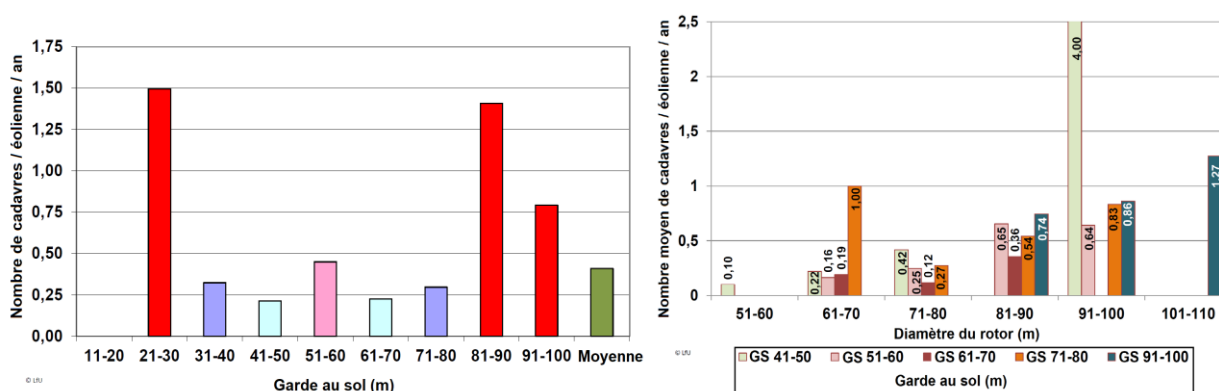


Figure 8 : Nombre de cas de mortalité de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020)

Ainsi, en 2020, la SFEPM préconise :

- de proscrire les hauteurs de garde inférieures à 30 m.
- de limiter la taille des rotors à moins de 90 m ou si les rotors sont supérieurs à 90 m de proscrire les gardes au sol inférieures à 50 m.

Les phénomènes d'attraction

Comme nous l'avons abordé précédemment, les éoliennes peuvent elles-mêmes jouer un rôle localement attractif pour les chiroptères occasionnant des événements de mortalité (Cryan *et al.* 2014a).

Les aérogénérateurs peuvent être confondus avec des arbres pouvant potentiellement comporter des **gîtes** ; tous les auteurs s'accordent sur ce sujet (Cryan & Brown 2007 ; Cryan *et al.* 2014 ; Hull & Cawthen 2013 ; Kunz *et al.* 2007).

Un autre phénomène est **l'attraction des insectes** par les éoliennes. Une partie des espèces de chiroptères sont assez opportunistes pour la nourriture en exploitant des ressources faciles telles que des insectes actifs nocturnes autour des éoliennes, ou espèces diurnes se reposant sur les machines (Bennett *et al.* 2017, Foo *et al.* 2017, Rydell *et al.* 2016, Cryan *et al.* 2014). La production de chaleur de certains types d'éoliennes pourrait concentrer les insectes, et donc augmenter le risque de mortalité des chiroptères par collision (Rydell *et al.* 2010b, Horn *et al.* 2008, Ahlén 2002). De même, Horn *et al.* (2008) ont vérifié que les abondances d'insectes sont supérieures à proximité des lumières de la FAA (Federal Aviation Administration), ce qui pourrait également être un facteur d'attraction pour les chiroptères. Dans la même étude, des images thermiques ont pu montrer des individus chassant activement autour de la nacelle et des pales. Johnson *et al.* (2004) trouvent également des activités supérieures à proximité des **sources lumineuses** des éoliennes bien qu'une incidence directe sur la mortalité n'ait pu être mise en évidence. Outre la présence de nourriture, certaines espèces de chauves-souris dites héliophiles (Sérotine commune par exemple) ont assimilé que des nuages d'insectes pouvaient être présents au niveau de sources lumineuses, elles peuvent donc également être attirées par la luminosité, et ce y compris en l'absence d'insectes. Beucher *et al.* (2013) ont aussi mis en évidence l'influence du facteur luminosité sur l'attractivité des éoliennes pour les insectes et les chauves-souris. La couleur des éoliennes et certains effets acoustiques sont aussi suspectés d'attirer les insectes volants et les chauves-souris dans la zone à risque (Long *et al.* 2011, Kunz *et al.* 2007). Ces phénomènes d'attraction des chiroptères sont confirmés par des études récentes portant sur des analyses des contenus stomacaux de chauves-souris mettant en évidence une correspondance entre les insectes présents à la surface des mâts et dans l'atmosphère autour les éoliennes (Foo *et al.* 2017, Rydell *et al.* 2016).

Les éoliennes peuvent également être des sources **d'écoulement d'eau** à l'extérieur de l'éolienne durant des nuits sans pluie (hypothèse de phénomènes de condensation) sur des épisodes courts mais intenses, pouvant provoquer un attrait des chiroptères qui reste à confirmer (Roch *et al.* 2018).

À noter cependant que les comportements d'approche sont nettement plus nombreux lorsque l'éolienne est à l'arrêt, et ce dans des conditions environnementales proches, signifiant que les deux concepts de répulsion et d'attraction coexistent (Cryan *et al.* 2014a).

Conséquences de la mortalité sur les populations de chiroptères

Comme expliqué précédemment, la notion de population chez les chiroptères est complexe à estimer. Cependant, il apparaît important de prendre en compte l'étude de Frick *et al.* menée en 2017. Cette étude montre que les taux actuels de mortalité due aux éoliennes apparaissent suffisamment élevés pour modifier considérablement la probabilité de stabilité de la population. Le risque d'extinction dans une gamme de scénarii démographiques plausibles pour des chauves-souris cendrées aux États-Unis serait plus fort, ces chiroptères sont proches des noctules européennes. La mortalité due aux éoliennes pourrait ainsi entraîner une réduction de 50 % de la taille de la population en seulement 50 ans, même dans un scénario optimiste d'une population de chauves-souris cendrées aussi importante que 10 millions de chauves-souris et avec un taux de croissance annuel moyen de 1 % par an, qui soutiendrait une croissance démographique stable. Cette étude souligne également que pour les chiroptères migrants, la mortalité liée aux éoliennes est susceptible d'impacter la viabilité des populations sur des scénarii démographiques probables. Elle suggère qu'à une échelle locale, l'implantation d'éoliennes pourrait suffire à faire chuter les effectifs d'une population jusqu'à l'extinction sur un pas de temps relativement court des cent prochaines années. Le graphique suivant représente ainsi les contours isolignes des déclin de population projetés après 50 ans de croissance, simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées, causées par les éoliennes, selon des combinaisons de tailles de populations initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population (λ). Les isolignes affichent les combinaisons de N_i , et où la population médiane de 10 000 simulations après 50 ans de croissance simulée était stable (ligne noire) ou a diminué de 25 %, 50 %, 75 %, 90 % et 95 %. La ligne pointillée montre l'isoligne de la stabilité de la population sans mortalité due aux éoliennes.

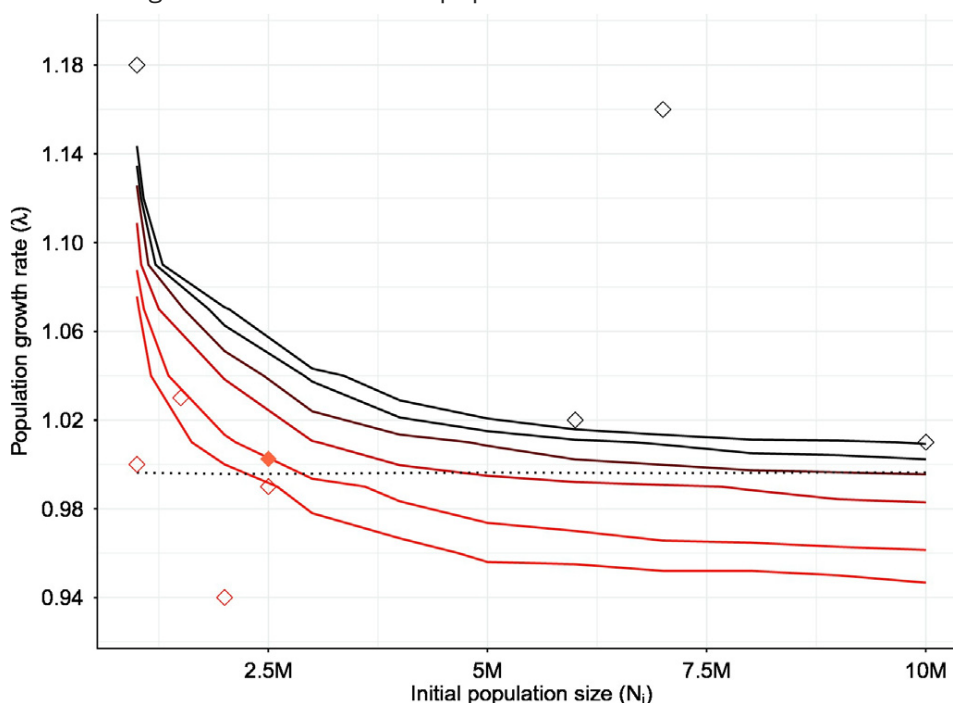


Figure 9 : Contours isolignes des déclin de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population (λ) (Frick *et al.* 2017)

Ainsi, la question du taux de mortalité acceptable se pose. Quelques études ont essayé de répondre à cette question *via* des méthodes de calcul estimant un nombre de cadavre par éolienne et par an, variant entre un et deux pour les chiroptères (Behr *et al.* 2017, Brinkmann *et al.* 2011).

Plusieurs études alertent sur le fait que, pour faire progresser la conservation des chauves-souris migratrices, il est essentiel de comprendre leurs modèles de migration. L'identification des schémas de déplacement permettrait alors de planifier l'emplacement des parcs éoliens pour atténuer les impacts sur les populations de chauves-souris. Cette information pourrait également être utilisée pour établir des normes pour une réduction « intelligente » (Jamin *et al.* 2020, Hayes *et al.* 2019b, Cryan *et al.* 2014b, Kunz *et al.* 2007b).

Cet état des connaissances indique tout d'abord un effet avéré potentiellement important de l'exploitation des parcs éoliens sur les populations de chiroptères. Les publications scientifiques mentionnées constituent parmi les seuls retours d'expérience en la matière, nombre de suivis comportementaux et de mortalité n'étant pas accessibles ou disponibles. Les diverses hypothèses avancées et souvent vérifiées ne représentent ainsi pas une seule cause de perturbation ou de mortalité des chiroptères par les éoliennes mais constituent différents facteurs agissant conjointement et dépendant des situations locales.



2 Méthodes utilisées

2.1 Méthodologie et démarche générale

Le suivi environnemental analyse les impacts du projet sur l'avifaune et les chiroptères et, pour les installations soumises à autorisation, sur toute espèce protégée identifiée dont la sensibilité à l'éolien est avérée et présentant un enjeu dans l'évaluation environnementale préalable (dont l'étude d'impact). Puis, les conclusions de cette dernière sont comparées avec les impacts de ce suivi environnemental. En application du principe de proportionnalité, l'intensité du suivi à mettre en œuvre dépendra des espèces présentes et des enjeux identifiés sur le site, ainsi que de l'impact résiduel déterminé par l'évaluation environnementale pour ces espèces. Pour les installations soumises à autorisation, le suivi mené par l'exploitant devra explicitement se référer aux mesures préconisées par l'étude d'impact et rappeler les données ayant permis de qualifier et quantifier les impacts résiduels du parc éolien précisés par cette dernière.

L'intensité du suivi à mettre en œuvre est défini selon plusieurs indices (sensibilité, vulnérabilité, note de risques, etc.), basés sur le croisement de différents paramètres, tels que le statut de conservation UICN, le nombre de cas de mortalité recensés en Europe, la taille et/ou la dynamique de population, la sensibilité au dérangement, etc.

Avifaune

L'indice utilisé est **l'indice de vulnérabilité**. Cet indice de vulnérabilité, compris entre 0,5 et 4,5, est le croisement entre la sensibilité au risque de collision et le statut de conservation UICN national. La sensibilité d'une espèce au risque de collision, comprise entre 0 et 4, correspond au rapport entre la mortalité recensée en Europe (Dürr, mises à jour régulières) et la taille de la population concernée. Les chiffres des populations européennes sont ceux publiés par BirdLife International (BirdLife 2017, European Birds of Conservation Concern – Populations, trends and national responsibilities).

Chiroptères

La sensibilité et la vulnérabilité sont regroupées sous la forme d'un seul coefficient pour les chiroptères. L'indice utilisé est ainsi la **note de risque**. Cette note, comprise entre 1 et 4, correspond au croisement entre le statut de conservation UICN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclus ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces.** Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Pour le parc éolien de Bourbriac, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé de deux des quatre volets réglementaires, à savoir :

- Suivi de l'activité des chiroptères,
- Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères.

Le parc éolien de Bourbriac a été mis en service en mars 2022, il s'agit donc de sa première année de suivi environnemental.

Le présent rapport comprend les résultats de ces suivis pour l'année 2022, s'étalant de mi-avril à fin octobre soit les périodes de reproduction et de migration postnuptiale pour l'avifaune et la mise bas / élevage des jeunes ainsi que les transits automnaux pour les chiroptères.

2.2 Suivi d'activité des chiroptères

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte

Le suivi de l'activité des chauves-souris permet d'estimer l'impact direct ou indirect des éoliennes sur cet état de conservation, en prenant en compte l'ensemble des facteurs influençant la dynamique des populations. Ce suivi porte sur chacune des phases du cycle biologique des chauves-souris (transits printaniers et gestation, mise-bas et élevage des jeunes, transits automnaux et swarming).

Les paramètres faisant l'objet du suivi de l'activité des chiroptères sont déterminés dans l'étude d'impact en fonction des enjeux et des impacts potentiels identifiés sur le parc éolien. Ainsi, ce suivi examine des paramètres tels que l'état des populations sur le site (diversité spécifique, activité d'une espèce donnée, etc.), le comportement des chauves-souris en vol, les périodes et conditions de présence des individus, etc.

2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire

2.2.2.1 Inventaires ultrasoniques automatiques en nacelle

Le protocole d'écoute en nacelle a pour but de réaliser des inventaires sur une longue période et à hauteur de nacelle d'éolienne.

D'après l'étude d'impact (AEPE Gingko, 2017) de la ferme éolienne de Bourbriac, les espèces présentant l'indice de vulnérabilité le plus important sur le cycle biologique actif concernent la **Pipistrelle commune** et la **Pipistrelle de Nathusius** avec un indice de vulnérabilité à la mortalité éolienne considéré comme fort.

2.2.2.1.1 Pression d'inventaire

L'étude conclut, pour les **effets résiduels**, à un **risque négligeable de collision des espèces présentes** grâce à l'installation de machines hautes et à la mise en place d'un bridage sur les machines dès la première année.

De fait, le protocole présenté ci-après répond aux modalités prévues initialement et validées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation (préfet des Côtes d'Armor, 24 juillet 2019). Il est conforme également au protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens révisé en 2018.

2.2.2.1.2 Protocole d'inventaire sur site

Un enregistreur automatique (modèle BATmode S+ de BioAcousticTechnology) est placé à l'intérieur de la nacelle de l'éolienne et le microphone est inséré dans sa paroi (illustration suivante).



Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.)

L'enregistreur est équipé d'un micro, placé sous la nacelle de l'éolienne au moyen d'un trou effectué dans la paroi de cette dernière. Ainsi, des relevés de la présence de chiroptères, dans un rayon allant jusqu'à 60 mètres autour du micro (distance variable selon les espèces), pourront être réalisés chaque nuit pendant les périodes d'inventaires. L'ensemble du dispositif est piloté par un ordinateur, placé dans la nacelle, et pilotable à distance.

2.2.2.1.3 Méthode d'analyse des résultats

Les pistes sonores sont analysées par logiciel afin de déterminer les espèces présentes ainsi que leur comportement. Le dispositif étant positionné sur une nacelle d'éolienne, les données sur les conditions extérieures récoltées par cette dernière sont utilisées afin de mener une analyse croisée des paramètres.

Dans le but d'obtenir des données exploitables servant de base à l'interprétation d'un chiroptérologue, trois étapes sont nécessaires :

Analyse automatique des données brutes

À chaque détection de cris, le dispositif BATmode enregistre et une piste sonore est générée au format numérique. Cette dernière est sauvegardée sur un disque dur, permettant par la suite un transfert vers un ordinateur à distance.

Le grand nombre d'heures d'écoute engendre une grande quantité de pistes sonores, difficilement analysables manuellement. C'est pourquoi un logiciel de reconnaissance automatique des signaux ultrasons est utilisé. Le logiciel SonoChiro® traite les enregistrements en deux étapes :

- Le processus de détection consiste à localiser puis caractériser dans les fichiers enregistrés un maximum de signaux potentiellement émis par les chiroptères.
- Le processus de classification s'appuie sur la caractérisation des signaux détectés lors de la phase précédente. Cette classification s'opère sur chaque fichier où le logiciel a détecté des signaux de chiroptères. À l'issue de cette phase de classification, chaque contact bénéficie d'une identification à 4 niveaux : espèce, groupe, indice de présence de buzz (son émis pour la détection d'une proie) et indice

de présence de cris sociaux. Chaque niveau bénéficie d'un indice de confiance allant de 0 à 10 de façon à refléter le risque d'erreur d'identification. La présence d'une espèce est jugée fiable lorsque l'indice de confiance est supérieur à 5.



Figure 11 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés

Vérification des résultats par un chiroptérologue

Le logiciel de reconnaissance automatique génère un tableau de résultats. Pour chaque séquence enregistrée, un certain nombre de paramètres est donné (groupe, espèce, indices de confiance, nombre de cris, date de l'enregistrement, etc.). La validité des déterminations issues de la reconnaissance automatique par logiciel est variable selon la qualité des enregistrements, les espèces contactées et le nombre de cris par séquence. Les déterminations au groupe sont généralement fiables tandis que les déterminations fines (à l'espèce) doivent être validées par un chiroptérologue. Dans ce cadre, un chiroptérologue procède à une vérification des espèces sur la base de la bibliographie, de sa connaissance du terrain et des inventaires déjà réalisés. La présence de chaque espèce est vérifiée par un chiroptérologue.

Les séquences de qualité médiocre (faiblesse des sons, bruits parasites) ou dont les signaux peuvent correspondre à plusieurs espèces sans possibilités de les différencier, sont laissées au genre afin de limiter les marges d'erreur. À défaut de la connaissance de l'espèce pour certains enregistrements, le nombre de contacts enregistrés constitue une donnée permettant de quantifier l'activité chiroptérologique.

Corrélation des données chiroptérologiques, météorologiques et astronomiques

La dernière étape de gestion et traitement des données consiste à mettre en conformité les données issues des enregistrements, les données fournies par l'éolienne et les données astronomiques de lever et coucher du soleil. À l'issue de cette opération, chaque enregistrement est défini par une série complète de paramètres permettant d'exploiter au mieux les données.

La mise en correspondance des données météorologiques et des enregistrements est réalisée par logiciel (macro Excel). Les enregistrements sont horodatés précisément tandis que les données météorologiques sont moyennées toutes les dix minutes. Concernant les vitesses de vent et la température, l'éolienne possède des instruments de mesure sur la nacelle.

2.2.2.2 Estimation de l'activité et de la diversité chiroptérologique

La quantification de l'activité et de la diversité chiroptérologique est basée sur des échelles d'activité mises en place par ENCIS Environnement. Afin de rester en adéquation avec les échelles d'activité déjà existantes sur d'autres protocoles acoustiques au niveau national, notamment Bas *et al.* 2020 et Hacquart 2015, la méthode retenue pour la mise en place de cette échelle est celle des quantiles. Ainsi, cette échelle a été définie sur la base de plus de 60 inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur.

Quantiles	Échelles d'activité	Inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur
Inférieur à 10 %	Très faible	<= 1
Entre 10 % et 25 %	Faible	1 à 3
Entre 25 % et 75 %	Modéré	3 à 25
Entre 75 % et 90 %	Fort	25 à 65
Supérieur à 90 %	Très fort	> 65

Tableau 1 : Valeurs seuils des échelles d'activité globale en fonction des différents protocoles

Quantiles	Échelles de diversité spécifique	Inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur
Inférieur à 10 %	Faible	<= 6
Entre 10 % et 25 %	Modéré	6 à 12
Entre 25 % et 75 %	Fort	> 12

Tableau 2 : Valeurs seuils des échelles de diversité spécifique en fonction des différents protocoles

2.2.2.3 Localisation des protocoles effectués

Le tableau suivant présente les habitats dans lesquels les points d'écoute ont été réalisés.

Numéro du point	Habitat	Type de milieu
BatMode S	Culture	Ouvert

Tableau 3 : Habitat et type de milieu inventorié

La cartographie suivante permet de rappeler la position de la Batmode S par rapport aux trois éoliennes présentes sur le site.



Carte 3 : Localisation et dénomination des dispositifs Batmode S

2.2.2.4 Calendrier des passages d'inventaire

2.2.2.4.1 Inventaire en nacelle

Concernant les écoutes sur nacelle d'éolienne, la période de présence du dispositif va du 5 avril 2022 au 9 novembre 2022. Les analyses des écoutes seront menées sur l'ensemble de la période d'activité des chiroptères.

Le volume des données brutes peut parfois être important lorsque l'éolienne génère des sons parasites, pour autant cela n'a pas été le cas ici.

Lors des périodes de maintenance ou du fait de problèmes techniques, il peut arriver que certaines nuits le dispositif ne fonctionne pas. Le monitoring permet d'identifier ces nuits de défaillance.

Le dispositif ne présente aucun dysfonctionnement lors des inventaires 2022.

Inventaires et méthodes employées	Nombres de sorties	Dates des campagnes	Horaires des inventaires	Conditions météorologiques d'observation			Personne ayant réalisé les inventaires
				Couverture du ciel	Température	Vent	
Enregistrements automatiques en nacelle (Batmode S)	218 nuits	Du 5 avril au 9 novembre 2022	D'une heure avant le coucher à une heure après le lever du soleil	-	-	-	Thomas GIRARD

Carte 4 : Localisation et dénomination des dispositifs Batmode S

2.3 Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères

2.3.1 Principes et objectif

L'exploitation d'un parc éolien engendre un risque de mortalité pour la faune volante présente de manière ponctuelle ou répétée à proximité des aérogénérateurs, par collision avec les pales en mouvement ou par barotraumatisme. Afin de s'assurer que les populations d'oiseaux et de chiroptères ne soient pas affectées de manière significative par le parc éolien et que l'impact sur ces taxons n'excède pas les prévisions de l'étude d'impact, un suivi de la mortalité est effectué sur site.

Ce suivi repose sur une méthodologie proposée par le « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » rédigé en novembre 2015 et révisé 2018, ainsi que sur les « suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères », document actualisé en 2016 par la SFPEM.

L'évaluation de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères engendrée par un parc éolien est réalisée par la recherche de cadavres au pied des aérogénérateurs. La technique consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours prédéfini et reproduit à plusieurs reprises durant une ou plusieurs périodes phénologiques au cours d'une année.

La mortalité brute observée est ensuite extrapolée, lorsque cela est possible, par l'utilisation de différents estimateurs. Ces estimateurs intègrent plusieurs paramètres correcteurs, tels que la surface prospectée relative, l'intervalle de temps moyen entre deux prospections, l'efficacité du chercheur ou encore la durée de persistance des cadavres sur le site (liée notamment à la prédation par d'éventuels charognards).

Si la mortalité brute observée sur le parc peut permettre la mise en évidence d'un impact d'ordre qualitatif (incidence notable sur un taxon, période à risque ou éolienne particulièrement mortifère), seules les mortalités estimées peuvent être utilisées pour quantifier l'impact de manière globale, et éventuellement, être comparées à d'autres parcs éoliens.

Compte tenu des nombreux facteurs aléatoires régissant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité, il est par ailleurs nécessaire d'être vigilant aux limites des extrapolations effectuées. Toute conclusion ne devrait ainsi être tirée qu'en prenant en compte la tendance globale apportée par l'ensemble des estimateurs, et non les résultats d'une unique estimation.

Dans le cadre du suivi de la mortalité, la découverte d'un cadavre d'oiseau ou de chauve-souris par l'exploitant ou par l'un de ses sous-contractants fait systématiquement l'objet d'une fiche détaillée. Cela permet ainsi le recensement standardisé des caractéristiques de l'espèce et des conditions de mortalité constatée par une procédure définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Seuls les acteurs habilités à manipuler des cadavres ou des animaux blessés pourront remplir ces fiches de terrain dans le cadre du suivi de mortalité.

2.3.2 Protocole utilisé

2.3.2.1 Pression d'inventaires

La pression des inventaires et leur organisation au cours de l'année se définissent en fonction de la phénologie des espèces et tiennent compte des résultats de l'étude d'impact et des enjeux identifiés sur le site.

Le protocole national de suivi dans sa version de mars 2018 prévoit les modalités suivantes :

SEMAINE N°	1 A 19	20 A 30	31 A 43	44 A 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé :	Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères	Dans tous les cas		Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères

L'étude d'impact ne soulève pas d'enjeux nécessitant la mise en place d'un renforcement du suivi établi par défaut d'après le protocole national (2018). L'arrêté préfectoral d'autorisation du 24 juillet 2019 est en accord avec les recommandations de l'étude d'impact mais précise que le suivi durera trois ans dès la première année de fonctionnement du parc, avec une sortie par semaine (semaine 16 à 43). De plus, le nombre de passage par semaine sera adapté en fonction des résultats des tests de persistance.

Pour des raisons d'organisation logistique, le parc éolien de Bourbriac a été prospecté l'après-midi, et non le matin, ce qui a pu générer une sous-estimation potentielle de la mortalité observée. En effet, les cadavres, notamment de chiroptères, sont plus facilement retrouvés le matin, en raison de la prédation.

Toutefois, afin de garantir la robustesse statistique des analyses, l'ensemble des sorties de prospection, y compris pour les tests de persistance, ont été réalisés sur la même tranche horaire (entre 13 et 15 heures environ).

Au total sur l'année 2022, 28 sorties de prospection ont été réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité, à raison d'une prospection par semaine, entre les semaine 16 et 43. Le calendrier complet des sorties est présenté en Annexe 3.

2.3.2.2 Nombre d'éoliennes prospectées

Compte tenu d'une potentielle hétérogénéité de la mortalité au sein d'un parc éolien, le protocole national préconise le suivi de :

- toutes les éoliennes pour les parcs de 8 éoliennes et moins ;

- d'au moins $8 + (n - 8)/2$ pour les parcs de plus de 8 éoliennes contenant n éoliennes.

Ainsi, au sein du parc de Bourbriac, chacune des trois éoliennes sera prospectée lors de ce suivi.

2.3.2.3 Surface et méthode d'échantillonnage

La surface échantillon à prospecter correspond à un carré de 100 m de côté (ou deux fois la longueur des pales pour les éoliennes présentant des pales de longueur supérieure à 50 m) ou un cercle de rayon égal à la longueur des pales avec un minimum de 50 m.

Dans le cadre de ce suivi, pour chaque éolienne, un carré de 120 mètres de côté a ainsi été défini comme surface échantillon (les pales des éoliennes étant longues de 60 m). La surface théorique d'échantillonnage couvre ainsi une surface de 14 400 m² par éolienne suivie.

Par la suite, le chercheur détermine un parcours à suivre et l'utilise invariablement lors de chaque prospection. L'espacement entre les transects ne doit pas dépasser 10 mètres, correspondant à une distance maximale de perception des cadavres par un observateur.

Le schéma suivant illustre la méthode théorique mise en place dans le cadre d'un suivi de la mortalité au pied d'une éolienne.

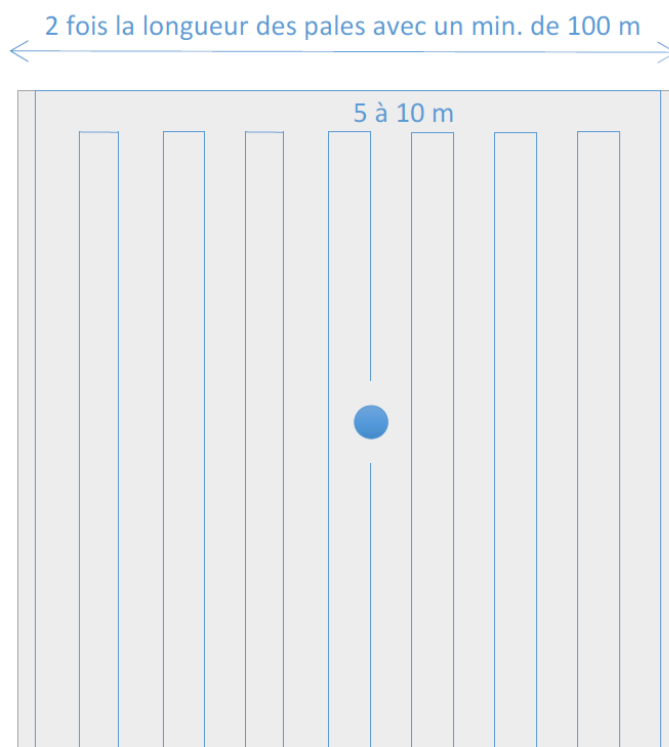


Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur (Annexe 1). De plus, à chaque découverte de cadavre, celui-ci est localisé par GPS, photographié et déterminé, puis, fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des

Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (Annexe 2). Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

2.3.1 Détermination du statut biologique

Le statut biologique des individus est déterminé en fonction de plusieurs paramètres : date de découverte, critères morphologiques, phénologie de l'espèce, présence avérée en nidification, etc. En effet, il existe par exemple des périodes pendant lesquelles certaines espèces sont en phase migration alors que d'autres sont en phase de reproduction. Ce phénomène existe également entre des individus au sein de la même espèce. Si la caractérisation précise de la phase biologique n'est pas possible, c'est la phase présentant l'enjeu le plus important qui est retenue.

2.3.2 Méthodes d'estimation de la mortalité

L'estimation de la mortalité peut être réalisée par l'intermédiaire de plusieurs formules mathématiques considérées comme valides, issues de différents protocoles (Winkelman, 1989 ; Erikson, 2000 ; Jones, 2009 ; Huso, 2010 ; Korner, 2011 ; Etterson, 2013).

Ces formules prennent en compte un certain nombre de paramètres. Ceux-ci permettent d'intégrer certains biais liés aux divers facteurs aléatoires, induisant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité.

Ainsi, d'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés (mortalité brute), plusieurs variables sont à évaluer afin d'être utilisées comme paramètres correcteurs :

- **l'efficacité du chercheur** (efficacité du chercheur à détecter les cadavres au sol),
- **la persistance des cadavres** (durée moyenne de présence ou taux de persistance des cadavres avant prélèvement, notamment par des animaux charognards),
- **l'intervalle des prospections sur site,**
- **les surfaces non-prospectables** (surfaces qui ne peuvent être prospectées en raison des contraintes liées au couvert végétal, au dénivelé, à la maîtrise foncière, etc.).

Deux tests ont été réalisés pour mesurer l'efficacité de l'observateur et quantifier la persistance des cadavres sur le site.

2.3.2.1 Durée moyenne de l'intervalle (I)

La durée moyenne de l'intervalle (I) entre deux prospections doit être déterminée afin d'être prise en compte dans les calculs d'estimation de la mortalité. Elle est calculée comme suit :

$$I = \frac{\sum_i^S I_i}{r}$$

Où : - I_i : durée de l'intervalle i

- r : nombre d'intervalles (entre chaque recherche)

2.3.2.2 Test d'efficacité

Ce test a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur, à savoir le nombre de cadavres trouvés par rapport à un nombre de cadavres déposés sur la zone de prospection.

Ainsi, afin de simuler des cadavres d'oiseaux et de chiroptères, une tierce personne (testeur) dépose entre trois et cinq cadavres (au moins) de poussins et/ou de souris, de tailles variées de manière aléatoire, sous chacune des éoliennes du parc. Les cadavres sont tout de même placés de manière à couvrir différents types de végétation présents, hors zones non-prospectées, et sont localisés par GPS. Le chercheur effectue ensuite son parcours habituel. Le nombre de cadavres retrouvés est alors comptabilisé.

Le facteur de correction lié à l'efficacité des chercheurs (d) correspond à la proportion de cadavres trouvés par rapport au nombre de cadavres déposés, soit :

$$d = \frac{d_t}{d_T}$$

Où :
 - d_t : nombre de cadavres trouvés par le chercheur
 - d_T : nombre de cadavres déposés initialement

Les paramètres des deux tests effectués sur l'année de suivi sont synthétisés dans le tableau suivant.

Test	Chercheur	Date	Nombre cadavres déposés		
			Petit (poussins)	Gros (cailles)	Total
Test 1	Laëtitia VIBERT	10-avr-22	12	6	18
Test 2	Laëtitia VIBERT	09-août-22	12	6	18
Total			24	12	36

Tableau 4 : Paramètres des tests d'efficacité effectués sur l'année de suivi

2.3.2.3 Test de persistance

Ce test a pour but d'évaluer la durée de persistance des cadavres, afin d'en tenir compte dans l'estimation de la mortalité. Cette durée de persistance est notamment influencée par les prélèvements des charognards.

À la suite du test d'efficacité les cadavres leurres sont laissés sur place. Plusieurs prospections ont lieu les jours suivant, à J+1, J+3, J+6, J+9 et J+13, représentant environ deux passages par semaine. Cela permet d'estimer la durée de persistance des cadavres dans le milieu.

Selon la méthode d'estimation, ce prélèvement peut être mesuré de différentes manières :

- **La durée moyenne de persistance des cadavres (t)**, utilisée dans les méthodes d'Erickson, de Jones et d'Huso, qui est calculée comme suit :

$$t = \frac{\sum_{i=1}^{C_T} t_i}{C_T}$$

Où :
 - t_i : durée de persistance du cadavre i
 - C_T : nombre de cadavres utilisés pour le test

- **Les taux de persistance des cadavres (d) de Jones et d'Huso**, qui sont détaillés dans la partie traitant des méthodes d'estimation de la mortalité (2.3.2.5 - Protocoles « Jones » et « Huso »).

2.3.2.4 Correction surfacique

La surface théorique de recherche sous l'éolienne n'est pas nécessairement prospectable dans son intégralité. En effet, la végétation présente peut rendre impossible le passage à pied (buissons, etc.) ou limiter la capacité d'observation du chercheur (cultures, prairies hautes, etc.). D'autres facteurs peuvent aussi être à l'origine d'une limitation de la prospection : autorisation d'accès sur les propriétés foncières, travaux à proximité de l'éolienne, etc.

Afin de pallier ce biais, le chercheur retranscrit sous SIG les surfaces prospectées lors de chaque visite. Un facteur de correction surfacique peut ensuite être appliqué lors des calculs d'estimation.

Le facteur de correction, calculé pour chaque prospection, est défini comme suit :

$$A = \frac{A_{Th}}{A_p}$$

Où :
 - A_{Th} : surface théorique
 - A_p : surface prospectée

2.3.2.5 Estimation de la mortalité

Une fois la campagne d'inventaires réalisée, les résultats sont analysés par l'intermédiaire des différentes méthodes d'estimation de la mortalité.

Le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018) préconise la méthode suivante :

- Utiliser au moins 3 formules de calcul des estimateurs standardisés à l'échelle internationale pour faciliter les comparaisons :
 - la formule de Huso (2010) ;

- deux formules aux choix parmi : Erickson, 2000 ; Jones, 2009 ; Korner-Nievergelt, 2015 ; Limpens *et al.*, 2013 ; Bastos *et al.*, 2013, Dalthorp *et al.*, 2017, etc.
- Préciser l'incertitude de l'estimation de la mortalité.

Les mortalités estimées sont calculées via le logiciel EolApp développé par le **Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive** de Montpellier (UMR 5175, www.cefe.cnrs.fr). Ce logiciel permet de calculer la mortalité estimée selon les formules d'Huso, d'Erickson, de Winkelman et de Jones, **assorties de leurs intervalles de confiance** à 90 % et 95 %. En accord avec les préconisations du protocole 2018, les résultats de la formule d'Huso sont utilisés, ainsi que ceux des formules d'Erickson et de Jones. Les résultats issus de la formule de Winkelman ne sont pas retenus, cette formule étant jugée obsolète, notamment par la SFEPM qui préconise l'utilisation d'au moins trois des estimateurs suivants: Huso, Jones, Erickson, Korner-Nievergelt, Limpens, Bastos.

2.3.2.5.1 Protocole « Erickson »

En 2000, Erikson intègre au calcul deux nouvelles variables : la durée moyenne de persistance des cadavres, ainsi que la durée moyenne de l'intervalle entre les prospections. Par ailleurs, cette formule est utilisable même lorsque le taux de persistance des cadavres est nul. Dans ce cas, les résultats concernant la mortalité seraient, toutefois, sous-estimés.

$$N = \frac{(I * C)}{(t * d)} * A$$

- Où :
- N : mortalité estimée
 - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
 - C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
 - t : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres
 - d : efficacité du chercheur
 - A : coefficient de correction surfacique

2.3.2.5.2 Protocoles « Jones » et « Huso »

Ces deux protocoles sont très semblables et intègrent deux nouvelles variables :

- Le taux de persistance selon Jones (dont le calcul diffère d'un protocole à l'autre),
- Le coefficient correcteur de l'intervalle.

$$N = \left(\frac{C}{d * p * \hat{e}} \right) * A$$

- Où :
- N : mortalité estimée
 - C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
 - d : efficacité du chercheur
 - p : taux de persistance (voir calcul ci-dessous « Jones » ou « Huso »)
 - \hat{e} : coefficient correcteur de l'intervalle (voir ci-dessous)

- A : coefficient de correction surfacique

Le coefficient correcteur de l'intervalle est défini comme suit :

$$\hat{e} = \frac{\text{Min}(I; \hat{I})}{I}$$

Où : - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections

- I : intervalle effectif, soit : $-\log(0,01) * t$

(- t : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres)

« Jones »

En 2009, Jones *et al.* proposent une méthode intégrant un taux de persistance et un coefficient correcteur de l'intervalle. Cette méthode repose sur les postulats suivants :

- Le taux de mortalité est constant sur l'intervalle défini,
- La durée de persistance d'un cadavre suit une variable exponentielle négative (impliquant que la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle corresponde à la probabilité de disparition d'un cadavre à la moitié de l'intervalle).

Ainsi, Jones définit le taux de persistance comme suit :

$$p = e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right)}$$

Où : - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections

- t : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres

Ainsi :

$$N = \frac{C}{d * e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right) * \hat{e}}} * A$$

« Huso »

En 2010, Huso propose une nouvelle évaluation du taux de persistance. En se basant sur la formule de Jones, elle considère que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle (second postulat de Jones) n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre.

Ainsi, Huso définit le taux de persistance comme suit :

$$p = \frac{\left(t * \left(1 - e^{\left(\frac{-I}{t}\right)}\right)\right)}{I}$$

Où : - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections

- t : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres

Ainsi :

$$N = \frac{c}{d * \left(\frac{t * \left(1 - e^{-\frac{I}{t}} \right)}{I} \right) * \hat{e}} * A$$

2.3.2.6 Postulat de chaque méthode d'estimation

Méthodes	Aire d'étude	Intervalle entre deux recherches	Persistence	Efficacité
Erickson (2000)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Jones (2009)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation est constante dans l'intervalle entre deux recherches	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Huso (2010)	Pris en compte	Intervalle basé sur « i » (Le temps au-delà duquel la probabilité de persistance est inférieure à 1%)	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche ne peut l'être aux suivantes

Tableau 5 : Postulats de chaque méthode d'estimation

Il est à noter que la formule d'Erickson (2000) tend à sous-estimer la mortalité réelle, notamment lorsque la durée de persistance des cadavres est importante.

2.4 Calendrier des inventaires

Inventaires et méthodes employées	Nombres de sorties	Dates des campagnes	Horaires des inventaires	Conditions météorologiques d'observation			Personne ayant réalisé les inventaires
				Couverture du ciel	Température	Vent	
Chiroptères							
Enregistrements automatiques en nacelle (Batmode S)		218 nuits	Du 5 avril au 9 novembre 2022	D'une heure avant le coucher à une après le lever du soleil	-	-	Thomas GIRARD

Tableau 6 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel

2.5 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées

2.5.1 Limites des méthodes employées

Pour réaliser le suivi des milieux naturels, des relevés ont été réalisés. Ces nombreux diagnostics ont permis de réaliser un inventaire le plus complet possible. Toutefois, rappelons qu'un inventaire naturaliste ne peut être prétendu totalement exhaustif. Néanmoins, la précision apportée au diagnostic s'adapte au mieux aux exigences d'un suivi environnemental.

2.5.1.1 Limites des méthodes employées pour le suivi des chiroptères

Les inventaires réalisés in situ (acoustiques, prospections des gîtes) sont ponctuels dans l'espace et dans le temps. La quantification et la qualification du cortège et de l'activité chiroptérologique de la zone restent suffisantes au regard des enjeux et objectifs rattachés à cette étude.

Le travail de détection comporte une limite importante dans la détermination exacte des signaux enregistrés. En effet, malgré l'utilisation de matériels perfectionnés, le risque d'erreur existe concernant l'identification des espèces des genres *Pipistrellus* et *Myotis*. Dans ce cas, seul le genre est déterminé.

Les Murins émettent des fréquences modulées abruptes de très faible portée, dont l'enregistrement est presque impossible à plus de 4 ou 5 mètres de l'animal. Malgré l'utilisation de matériels perfectionnés, la distance de détection de ces espèces est limitée par la faible portée de leurs signaux.

Les émissions sonores des individus appartenant au genre *Rhinolophus* sont de faible intensité et sont indétectables à plus de 10 m de distance. Dans ce cas, seul le genre est déterminé.

Enfin, l'utilisation d'un matériel électronique induit des risques de problèmes techniques (pannes) temporaires.

2.5.1.2 Limites des méthodes employées pour le suivi de la mortalité

Les relevés effectués lors des prospections permettent d'obtenir des résultats bruts. Plusieurs variables sont ainsi prises en compte lors de l'estimation afin de limiter les biais :

- La capacité de détection est variable en fonction du chercheur. Ce biais est corrigé par l'utilisation d'un ou plusieurs tests d'efficacité et la prise en compte du taux d'efficacité dans les calculs d'estimation. Toutefois, la variabilité de l'efficacité peut être liée à de multiples facteurs (luminosité extérieure, fatigue du chercheur, type de végétation sur la surface prospectée, etc.). Il est donc complexe de corriger ce biais avec précision.
- La durée de persistance des cadavres est estimée par la réalisation d'un ou plusieurs tests de persistance et la prise en compte du taux de persistance dans les calculs d'estimation. Toutefois, ce taux de persistance dépend de nombreux facteurs aléatoires et peut ainsi être variable temporellement et spatialement. De même, il est complexe de corriger ce biais avec précision.
- Les surfaces non-prospectées créent un biais d'échantillonnage qui est corrigé par le coefficient de correction surfacique, pris en compte dans les calculs d'estimation. Toutefois, cette correction repose sur l'hypothèse que les cadavres se répartissent de façon homogène sous l'éolienne, au sein de la surface prospectée.

D'autres facteurs peuvent éventuellement limiter la robustesse des résultats :

- La surface de prospection est un carré comprenant la totalité de la zone de survol des pales (coté au moins égal à deux fois la longueur d'une pale). Il est possible que des individus soient éjectés en dehors de cette zone ou soient blessés et meurent à une distance bien plus éloignée. Il s'agit du « *cripping loss* », un biais peu étudié et non pris en compte dans les différentes méthodes d'estimation.
- L'efficacité du chercheur peut être limitée par les conditions météorologiques. Toutefois, ce biais est réduit car les sorties sont réalisées autant que possible lorsque la météo est favorable.

2.5.2 Difficultés rencontrées

2.5.2.1 Suivi des chiroptères

Les difficultés qui peuvent être rencontrées pour le suivi des chiroptères sont principalement d'ordre technique.

Concernant le suivi en nacelle *via* les BATmodes, des problèmes techniques peuvent occasionnellement survenir. Ils peuvent amener une perte d'information par arrêt temporaire des enregistrements de chauves-souris, cela n'a pas été le cas pour cet inventaire.

Un autre problème possible est l'enregistrement par les dispositifs BATmode S de sons qui ne proviennent pas de chiroptères. Ces sons « parasites » peuvent être dus à des bruits de l'environnement nocturnes et notamment des éoliennes. Peu de sons parasites ont été enregistrés au cours de cet inventaire.

Ces limites protocolaires ne modifient pas les conclusions globales des analyses sur le comportement, la diversité et la quantité des chiroptères présents en vol à hauteur de nacelle sur le site de Bourbriac.

2.5.2.2 Suivi de la mortalité

La topographie du parc, présentant de nombreux boisements, a empêché la prospection de la totalité du quadrat théorique de prospection.



3 Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

D'après les résultats présentés dans l'étude d'impact (AEPE Gingko, 2017) de la ferme éolienne de Bourbriac, l'ensemble du cycle annuel des chauves-souris a été étudié.

Les protocoles utilisés ont permis d'établir une liste de **16 espèces**, avec des enjeux notamment pour la Pipistrelle commune, espèce la plus contactée sur le site. Cependant, aucune écoute en altitude n'a été effectuée lors de l'étude d'impact. De ce fait, les espèces de haut-vol sensibles à l'éolien sont potentiellement sous-estimées. Le suivi comportemental de la présente étude cible précisément l'activité des chiroptères au niveau des rotors. Cela devrait permettre d'étoffer les résultats de l'étude d'impact, en particulier sur le groupe des espèces de haut-vol, comme les noctules.

Les conclusions de l'étude d'impact réalisée par AEPE Gingko en 2017 sont présentées ci-dessous :

LES ENJEUX DE CONSERVATION DES HABITATS

« Les vieilles haies et les vieux boisements situés au sein du périmètre d'étude immédiat sont favorables à l'accueil des espèces forestières comme la Barbastelle d'Europe (espèce régulièrement contactée sur le site). En effet, certains individus gîtent probablement de manière ponctuelle au sein de fissures de ligneux présents sur le site. Étant donnée la sensibilité des espèces gîtant, l'enjeu de conservation de ses habitats peut être qualifié de fort. Néanmoins, les jeunes ligneux et les arbustes ne sont pas favorables à l'accueil des chiroptères. Seuls les haies et boisements constitués pour partie de vieux ligneux présentent un enjeu fort.

La conservation des grands corridors de déplacements potentiels des chiroptères est à considérer avec un enjeu moyen. La Pipistrelle de Nathusius, la Noctule de Leisler (espèces migratrices) et de nombreuses espèces sédentaires peuvent potentiellement les emprunter, plus particulièrement en période de migration vers les gîtes de mise-bas ou de swarming. La conservation des corridors secondaires (réseaux de haies et de boisements moins connectés), constitue un enjeu faible pour le déplacement des espèces.

Les milieux ouverts favorables à la chasse des chauves-souris, assez répandus localement présentent un enjeu de conservation faible. » (AEPE Gingko, 2017).

LES ENJEUX DE VULNERABILITE A LA MORTALITE EOLIENNE

« Les deux espèces les plus sensibles à la mortalité éolienne contactées sur le site sont la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius. Une attention particulière devra donc être portée quant aux risques de collision pour ces deux espèces. Nonobstant, la Pipistrelle commune est l'espèce la plus abondante sur le site (plus de 60% des contacts), le risque de mortalité est d'autant plus important. Cette espèce est directement liée à l'effet lisière et utilise le plus souvent la trame verte pour réaliser ses déplacements.

Trois autres espèces ont un indice local de vulnérabilité à la mortalité éolienne qualifié de « moyen » : la Sérotine commune, le Grand Rhinolophe et la Noctule de Leisler. Parmi elles, la Noctule de Leisler est la seule espèce de haut-vol contactée mais sa présence est sporadique sur le site et l'enjeu lié

au risque de collision pour cette espèce n'est pas alarmant. Les autres taxons sont directement liés à la trame verte du site. L'effet lisière est donc là aussi particulièrement important pour ces chauves-souris et l'espace aérien situé au-dessus des haies, des boisements et de leurs lisières de 0 à 50m constitue un secteur où le risque de mortalité est élevé, voire très élevé.

À l'emplacement du corridor boisé traversant le site et de la vallée boisée située en marge au Nord (corridors principaux), le risque de collision est également élevé.

Sur les autres secteurs (espaces ouverts favorables à la chasse, lisières de 50 m et plus), le risque de collision est beaucoup plus limité car la circulation des espèces s'effectue de manière sporadique, il n'y a donc pas d'enjeu particulier sur ces secteurs. Le bocage étant encore relativement dense sur ce secteur, la présence de ces espaces est malheureusement très réduite au sein du périmètre d'étude immédiat.

Il est important de rappeler qu'aucun gîte n'est connu à proximité directe du périmètre d'étude immédiat. Leur éloignement suffisant ne leur permet pas d'influencer - du moins de manière marquante - l'activité des chiroptères sur le site. Les corridors principaux peuvent cependant en période de migration constituer des zones plus empruntées et par conséquent plus exposées au risque de mortalité.

Le risque potentiel de mortalité causé par des éoliennes au sein du périmètre reste cependant à relativiser. En effet, malgré la présence de milieux favorables localement, les écoutes passives indiquent que l'activité chiroptérologique enregistrée sur le site est peu élevée (en moyenne 18 contacts/heure par point) et les zones les plus fréquentées sont situées en dehors du site (vallon boisé au nord/est). De plus, les espèces les plus abondantes ne sont pas spécialement sensibles au risque de mortalité (Barbastelle d'Europe, murins, etc.), hormis la Pipistrelle commune, taxon le plus commun en France.

Ainsi, le risque le plus élevé concerne uniquement ces espaces de chasse et de circulation quotidienne directement liés à la trame verte et plus particulièrement la Pipistrelle commune, car les espèces pratiquant des déplacements de haut-vol beaucoup plus aléatoires - soumis à un risque de mortalité plus important - ne sont présentes que de manière très sporadique sur le site. Et ces dernières sont davantage susceptibles de circuler ou de chasser au sein du vallon boisé situé à l'extérieur du périmètre immédiat.

De fait, les enjeux liés au risque de mortalité des chiroptères face à l'éolien ne sont pas incompatibles avec un projet d'installation d'aérogénérateurs dès lors que des mesures adaptées sont prises en conséquence. » (AEPE Gingko, 2017).

SYNTHESE DES ENJEUX SUR LES MILIEUX NATURELS

	<i>Enjeu identifié à l'état initial</i>	<i>Espèces ou habitats patrimoniaux concernés</i>	<i>Niveau de l'enjeu</i>
Chiroptères	<i>Conservation des zones de gîtes arboricoles potentiels</i>	<i>Barbastelle d'Europe, Pipistrelle de Nathusius, Sérotine commune, Murins, Oreillards...</i>	Fort
	<i>Conservation des corridors principaux</i>	<i>Toutes espèces</i>	Moyen
	<i>Conservation des corridors secondaires</i>	<i>Toutes espèces</i>	Faible
	<i>Conservation des milieux ouverts favorables à la chasse</i>	<i>Toutes espèces</i>	Faible
	<i>Recul aux haies et boisement d'au moins 10 m</i>	<i>Toutes espèces</i>	Fort
	<i>Recul aux haies et boisement d'au moins 50 m</i>	<i>Toutes espèces</i>	Moyen
	<i>Recul aux haies et boisement d'au moins 100 m</i>	<i>Toutes espèces</i>	Faible
	<i>Enjeux de vulnérabilité à la mortalité éolienne</i>	<i>Pipistrelle de Nathusius, Pipistrelle commune</i>	Fort
		<i>Sérotine commune, Grand Rhinolophe, Noctule de Leisler</i>	Moyen
		<i>Pipistrelle de Kuhl, Barbastelle d'Europe, Grand Murin, Murin à Oreilles échancrées, Murin de Bechstein, Murin sp.</i>	Faible

Tableau 7 : Synthèse des enjeux sur les chiroptères de l'étude d'impact de AEPE Gingko (2017)

D'après l'étude d'impact de 2017, les impacts en phase d'exploitation du parc éolien de Bourbriac sur les chiroptères sont considérés comme négligeables. Le présent suivi ICPE doit permettre d'affiner ces résultats, une corrélation entre les écoutes en nacelle et le suivi de la mortalité au sol sera réalisée.

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2022

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle

Les résultats présentés dans cette partie correspondent aux inventaires réalisés à l'aide d'un détecteur automatique d'ultrasons de type Batmode S, installé au niveau de la nacelle de l'éolienne E3. Ces inventaires sont réalisés en continu durant les périodes les plus importantes du cycle biologique des chiroptères, du 5 avril au 9 novembre 2022.

Le dispositif est donc resté installé durant 217 nuits et **l'analyse porte sur l'ensemble de ces nuits**, elles se situent en effet dans le cycle biologique actif des chiroptères (mars à novembre).

3.2.1.1 Diversité et activité spécifique enregistrée

3.2.1.1.1 Résultats obtenus sur l'ensemble du cycle

Le tableau suivant présente les résultats issus des analyses du logiciel Sonochiro®. Ces données ont été vérifiées par un chiroptérologue afin d'obtenir une liste d'espèces dont la présence est certifiée. La plupart des contacts ont été vérifiés en raison d'un grand nombre de séquences comportant des parasites liés à l'éolienne. Par cette méthode, les résultats présentés dans le tableau suivant constituent une base de données jugée fiable.

Genre	Espèces	Recensement			Total estimé
		Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	
<i>Eptesicus</i>	Sérotine commune	11	43	15	69
<i>Nyctalus</i>	Noctule de Leisler	-	-	4	4
<i>Pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	136	686	242	1 064
	Pipistrelle de Kuhl	8	82	2	92
	Pipistrelle de Nathusius	26	193	16	235
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce					
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius		2	7	2	11
Total	5 espèces	183	1 011	281	1 475

Tableau 8 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne

La diversité spécifique inventoriée par le protocole d'écoute permanente sur nacelle d'éolienne est qualifiée de faible pour un milieu en hauteur, avec la présence de cinq espèces identifiées de manière certaine.

En hauteur, on constate une cohérence avec la bibliographie disponible, au travers d'une plus forte proportion des espèces dites de haut-vol ou de lisière généralistes (Noctule de Leisler, Sérotine commune et pipistrelles) qui totalisent presque toute l'activité, les espèces plus forestières comme la Barbastelle d'Europe n'étant pas présentes.

Ainsi, la Pipistrelle commune regroupe la grande majorité de contacts avec 72 % du total. La Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine commune suivent avec respectivement 16 %, 6 % et 5 % de l'activité en hauteur. La Noctule de Leisler est présente de manière anecdotique sur ce site avec seulement quatre contacts pour cette espèce.

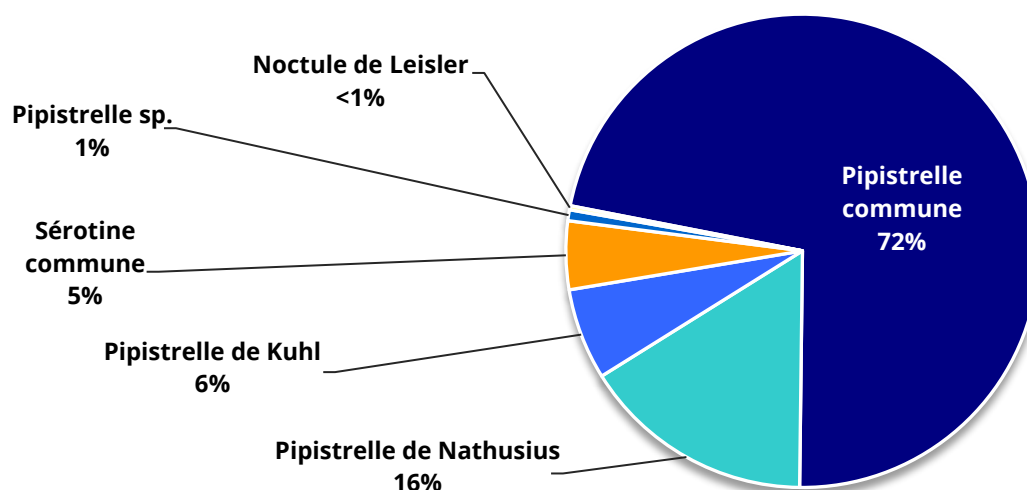


Figure 13 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

3.2.1.1.1 Résultats obtenus en fonction du cycle biologique des chiroptères

Le tableau suivant présente le nombre de contacts enregistrés pour chaque phase biologique. Ils ont également été ramenés au nombre de nuits présentant un contact chiroptérologique.

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Nombre de contacts	183	1 011	281	1 475
Nombre de nuits d'enregistrements	56	76	85	217
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	16 %	67 %	17 %	100 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	3	13	3	7

Tableau 9 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques

On constate que la période de mise-bas et d'élevage des jeunes est la phase avec le plus d'activité, loin devant les autres. Elle concentre 67 % des contacts totaux. La période de transits automnaux et swarming arrive ensuite avec 17 % des contacts suivie de la phase de transits printaniers et gestation avec 16 % des contacts.

L'activité moyenne par nuit sur l'ensemble de la période d'étude est modérée pour ce type d'inventaire.

Il est à noter que la phase printanière n'a pas été inventoriée au complet. En ramenant au nombre moyen de contacts par nuit d'enregistrement, on constate que cette phase est bien celle avec l'activité la plus faible, non loin de la phase automnale.

3.2.1.1.1 Résultats obtenus en fonction du mois d'inventaire

En comparant les mois entre eux, on note une forte prédominance du groupe des pipistrelles et notamment de la Pipistrelle commune sur l'ensemble de la période étudiée.

Les mois de juin et juillet concentrent près d'un tiers des contacts enregistrés sur le site, soit plus de 920 contacts sur ces deux mois. C'est durant cette période que l'activité est la plus intense avec une large proportion de Pipistrelle commune. Les autres mois, excepté le mois d'avril, montrent une activité plutôt similaire avec un nombre de contacts par mois variant entre 120 et 170. La **Pipistrelle de Nathusius** montre une activité importante sur le site notamment en mai, juin, juillet et octobre. Si le nombre de contacts en mai et en octobre peut montrer une activité de migration de l'espèce, le nombre conséquent de contacts en été peut laisser penser à la présence d'une colonie à proximité. De plus, d'après l'Atlas des mammifères de Bretagne, une colonie regroupant entre 15 et 20 individus, femelles et jeunes compris, a été découverte en 2011, à environ 20 km du site au nord-est. Cette distance peut être parcourue en une nuit par la Pipistrelle de Nathusius. À noter également que le mois d'août compte une forte proportion de Sérotine commune par rapport aux autres mois. Enfin, le mois d'avril affiche des contacts anecdotiques avec un pourcent des contacts.

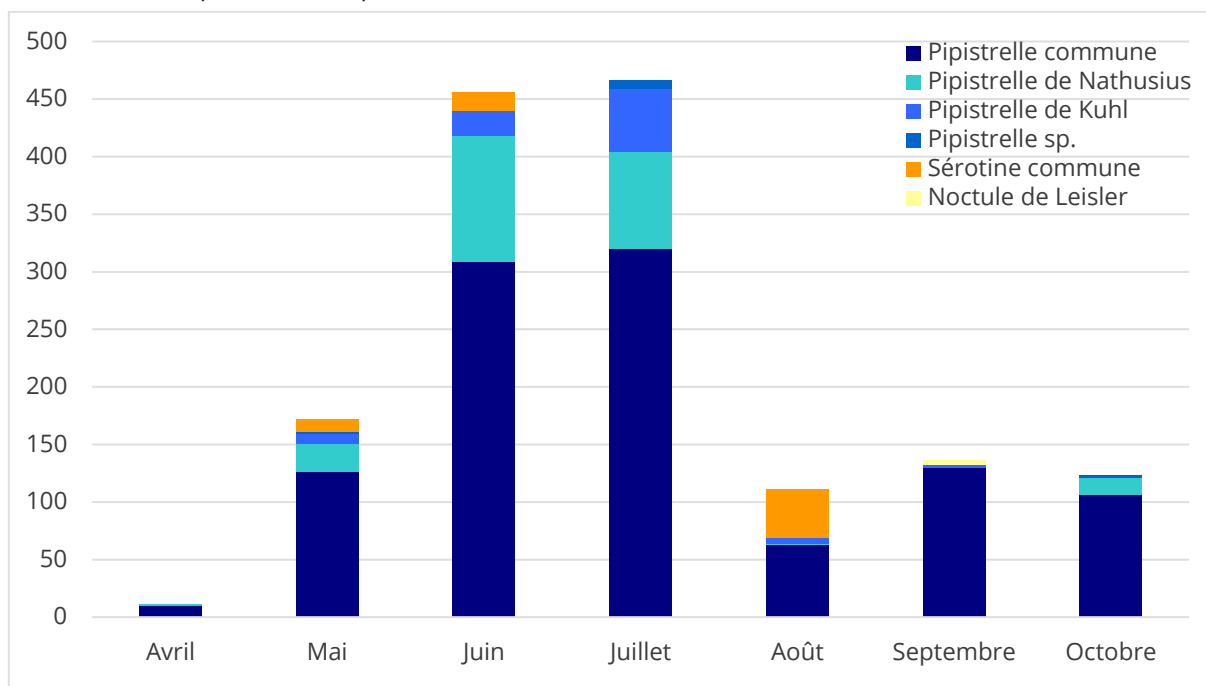


Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

Concernant les niveaux d'activité, ils sont modérés pour ce type d'inventaire du mois de mai au mois d'octobre. L'activité est cependant très faible au mois d'avril.

	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
Nombre de contacts	11	172	456	466	111	136	123	0
Nombre de nuits d'enregistrements	25	31	30	31	31	30	31	8
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	1 %	12 %	31 %	31 %	7 %	9 %	8 %	0 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	<1	6	15	15	4	5	4	0

Tableau 10 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires

3.2.1.1.2 Résultats obtenus en fonction de la nuit d'inventaire

Le graphique suivant illustre l'activité chiroptérologique par nuit d'inventaire. Ainsi, l'activité inter-journalière des chauves-souris est très irrégulière. Le nombre de contacts enregistrés par nuit varie de 0 à 291 contacts. **Cette variabilité journalière reste particulièrement complexe à anticiper, dépendant de multiples facteurs, à l'exemple des conditions météorologiques ou de la présence de ressources alimentaires, etc.** Il est dans l'état des connaissances actuelles très difficile de comprendre ces variations mais une hypothèse de migration peut être formulée sur ce site. En effet, des pics d'activité très forts et concentrés sur certaines nuits peuvent survenir brusquement, comme au mois d'octobre, ce qui correspond aux périodes de migration.

Pour rappel, le dispositif fut opérationnel à partir du 5 avril 2022 et l'arrêt des écoutes dans le cadre des analyses suivantes a été fixé au 9 novembre 2022. Les premiers contacts de chauves-souris ont été recensés le 14 avril 2022.

Plusieurs nuits ont donc enregistré un nombre de contacts conséquent. En effet, alors que la plupart des nuits ne dépassent pas la cinquantaine de contacts enregistrés, il y a eu 270 contacts le 18 juin et 291 le 2 juillet. D'autres nuits rencontrent un nombre de contacts plus fort que la moyenne, c'est notamment le cas pour le 1^{er} juillet et le 6 octobre avec respectivement 100 et 103 contacts.

Tous ces contacts incluent surtout la Pipistrelle commune. Une activité migratoire pour la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius entre des sites d'estivage et hivernaux est plausible, notamment en raison des pics situés au début du mois d'octobre. Ces deux espèces sont également bien représentées sur les mois de juin et de juillet, en période de mise-bas et d'élevage des jeunes. La présence de colonies dans le secteur est donc probable.

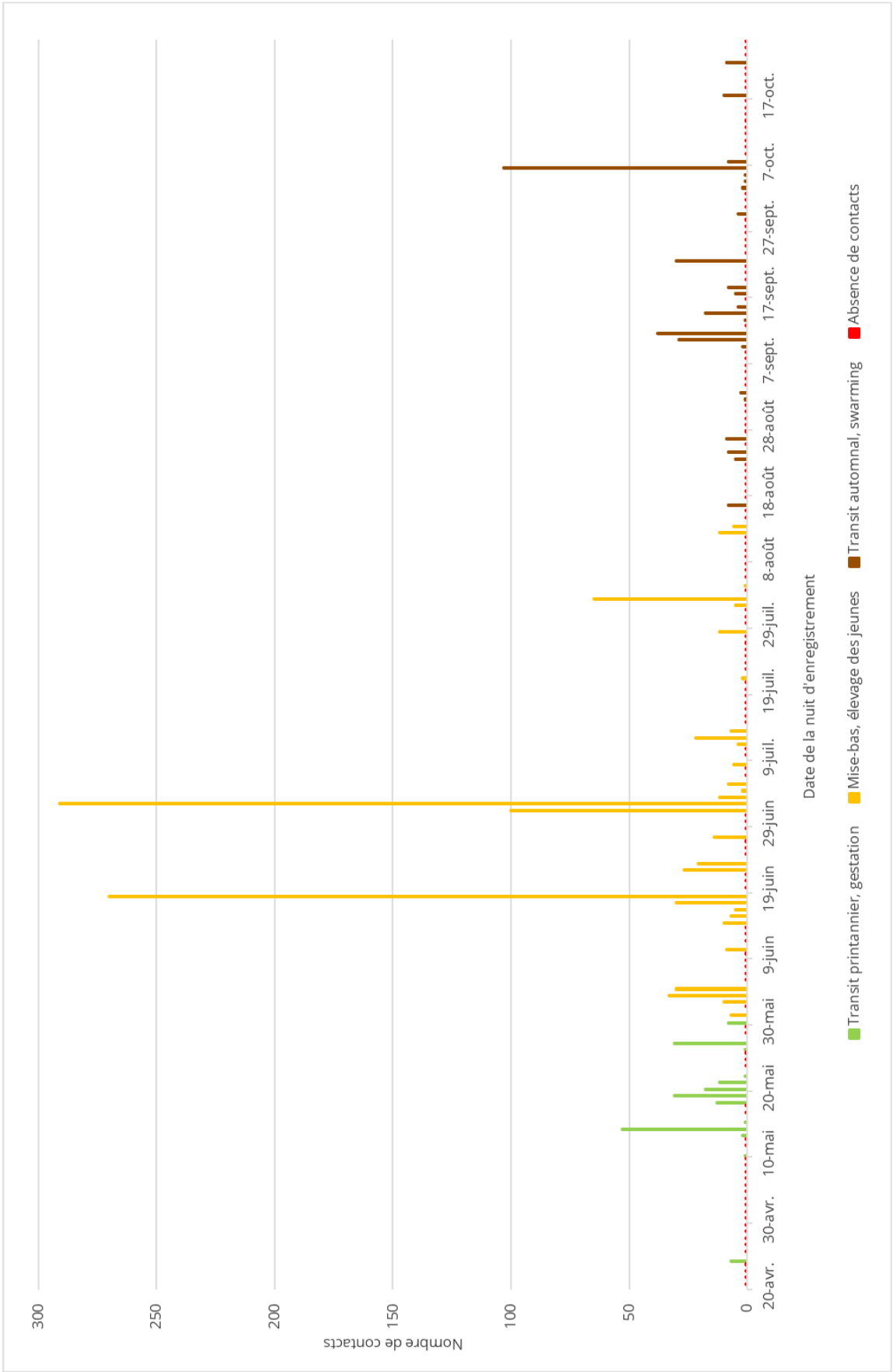


Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire

3.2.1.2 Activité chiroptérologique en fonction des facteurs astronomiques et météorologiques

3.2.1.2.1 Activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

La répartition du nombre de contacts en fonction des heures de la nuit et de la période de l'année est représentée dans le graphique suivant. Ainsi, ce dernier est présenté sous la forme d'une carte de chaleur affichant la densité de contacts chiroptérologiques. Les aplats de couleurs représentent l'intensité de l'activité chiroptérologique, répartie entre les heures de la nuit (heure astronomique et non civile) en ordonnée, et les jours de l'année en abscisse. La couleur blanche correspond à l'absence de contacts.

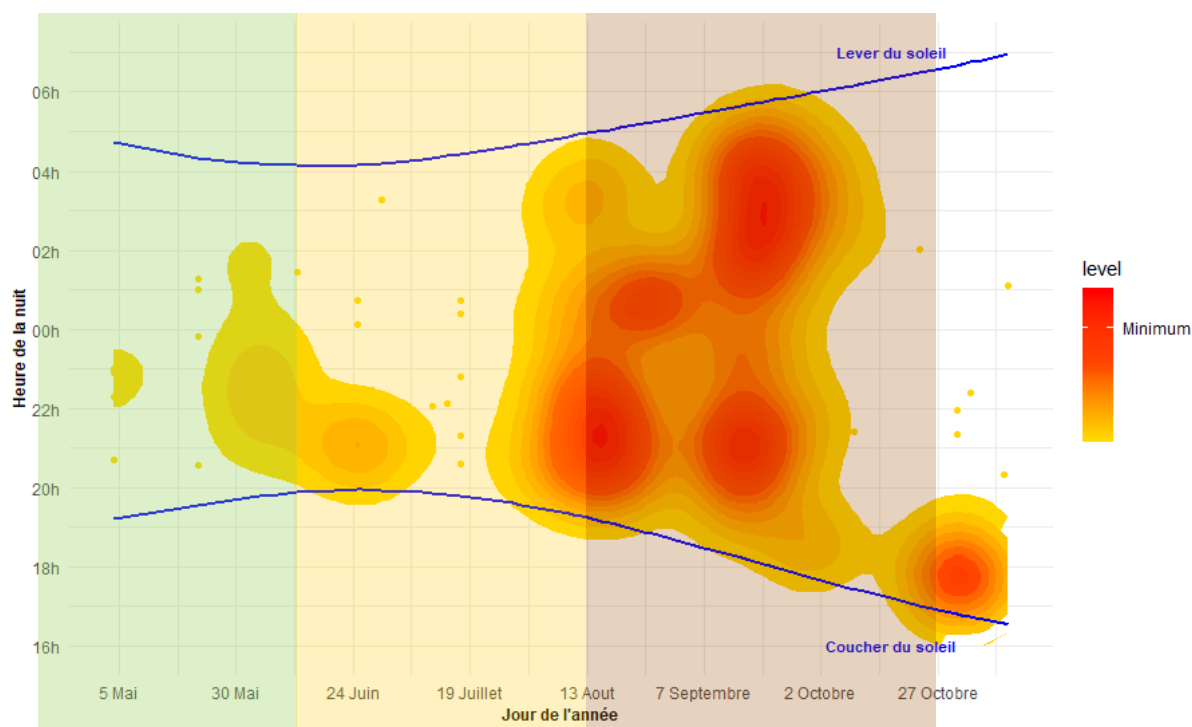


Figure 15 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Selon les données bibliographiques, il existe une baisse progressive du niveau d'activité au cours de la nuit. Cette baisse peut être accentuée par des facteurs limitants, comme le début et la fin de la saison, ou encore des températures froides.

Sur la période analysée cette tendance est observée au printemps, en fin d'été et en début d'automne où l'activité a été plus faible. On constate cependant des niveaux d'activité qui peuvent rester assez réguliers dans la nuit à certaines périodes, voir même réaugmenter peu avant le lever du soleil, notamment au mois de juin et dans une moindre mesure au mois d'octobre. Ainsi, plusieurs études suggèrent la présence d'un regain d'activité à l'aube pour certaines espèces de chiroptères. C'est le cas par exemple de la Noctule commune, dont une activité de retour au gîte relativement importante à l'aube a pu être mise en évidence dans les forêts de Slovaquie (Kanuch, 2007). Deux pics d'activité (crépuscule et aube) avaient déjà été mis en évidence pour cette même espèce dans la forêt de Białowieża en Pologne (Rachwald, 1992), trois selon Arthur et Lemaire (2015). Les pipistrelles montrent également un pic

d'activité au crépuscule et au lever du soleil. Ces deux périodes correspondent en effet aux pics d'activité des insectes nocturnes, et donc des chiroptères pour leur activité de chasse (Swift, 1980).

Sur toute la période étudiée, des contacts isolés sont enregistrés aussi bien en début qu'en fin de nuit, cela correspond aux points jaunes épars.

3.2.1.2.2 Activité chiroptérologique en fonction de la température

La température semble jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre l'augmentation de la température et l'activité (Redell *et al.* 2006 ; Arnett *et al.* 2006, 2007 ; Baerwald and Barclay 2011, etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant indépendamment sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.* 2008 ; Kerns *et al.* 2005). Arnett *et al.* 2006 ont en outre observé qu'au-dessus de 44 m d'altitude, l'activité n'était en rien affectée par la température. Les opinions sur les autres paramètres météorologiques, sont d'autant plus mitigées. La pression atmosphérique (Cryan and Brown 2007 ; Cryan *et al.* 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.* 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.* (2011), ou sur l'abondance d'insectes (Corten and Veldkamp 2001). Enfin, l'expérience montre qu'en fonction des saisons, l'importance de ce facteur sur l'activité chiroptérologique oscille fortement.

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de températures nocturnes enregistrées par la nacelle de l'éolienne et le nombre de contacts de chiroptères en fonction de ces températures.

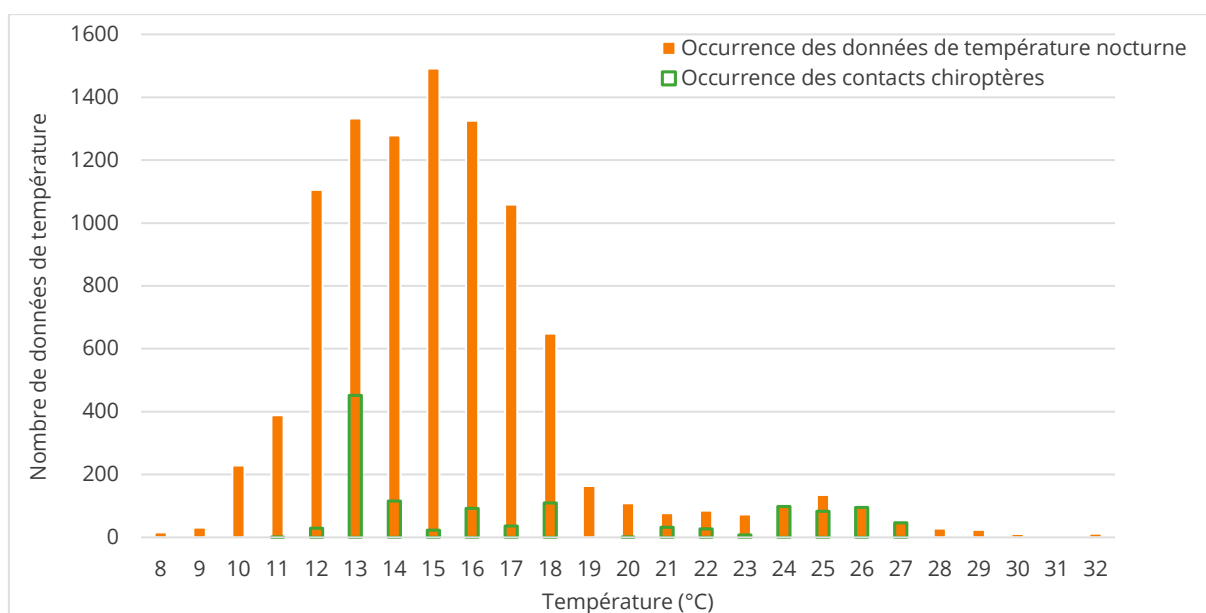


Figure 16 : Activité des chiroptères en fonction de la température

Les inventaires réalisés sur le site montrent ainsi que les chiroptères semblent concentrer leur activité entre 12 et 27 °C, en décalage avec les températures nocturnes « disponibles » qui se concentrent entre 10 et 26 °C. **L'activité semble démarrer réellement à partir de 13 °C.**

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble de la période étudiée, à savoir qu'un maximum d'activité est mesuré à partir de 13 °C et jusqu'à plus de 26 °C de température. On voit clairement sur ce graphique la forte activité en juillet ainsi qu'en juin, avec des plages de températures variées utilisées par les chiroptères.

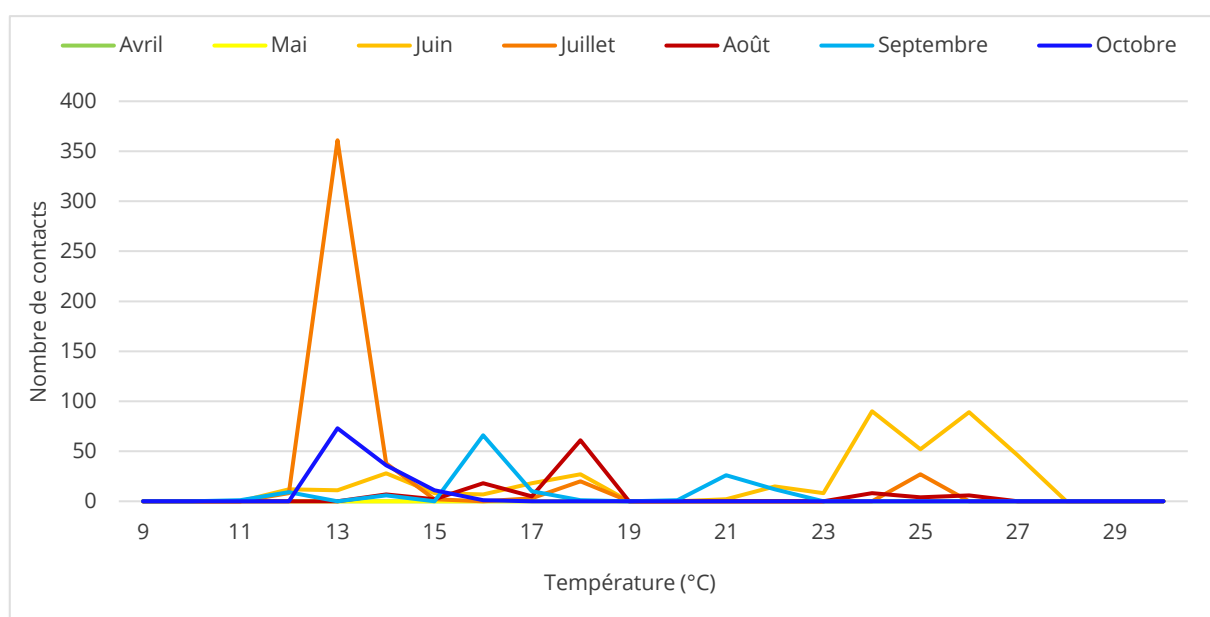


Figure 16 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température

3.2.1.2.3 Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de vitesse de vent enregistrées par la nacelle et le nombre de contacts enregistrés sous ces vitesses de vent.

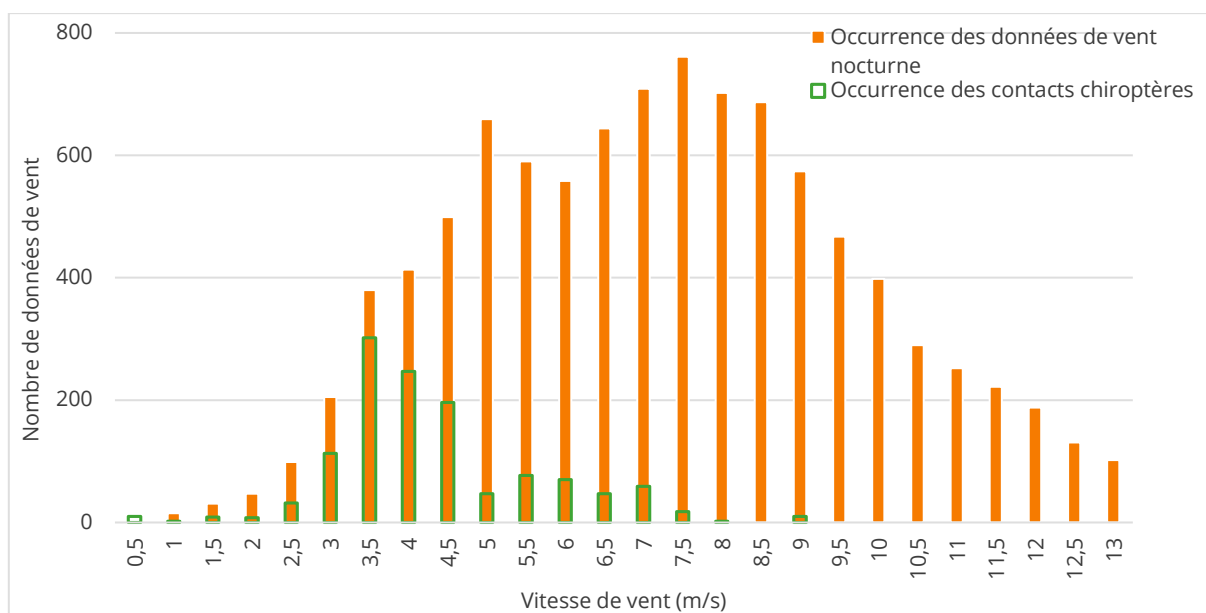


Figure 17 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

Globalement, ce graphique illustre un décalage de l'activité chiroptérologique sous des vitesses de vent les plus faibles de la répartition des occurrences de vent nocturnes.

L'activité chiroptérologique semble s'étaler entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 7,5 m/s à hauteur de nacelle avec une importance accrue entre 2,5 et 7,5 m/s. Au-delà de ce seuil, l'activité chute effectivement et devient plus sporadique.

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble de la période étudiée, à savoir que l'activité semble s'étaler surtout entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 7 m/s à hauteur de nacelle. On observe bien la chute à partir de ce seuil, on note que l'activité devient négligeable après celui-ci.

La quasi-absence de noctules, espèces capables de voler à des vitesses de vent relativement fortes, explique qu'il y ait peu de contacts après 7 m/s.

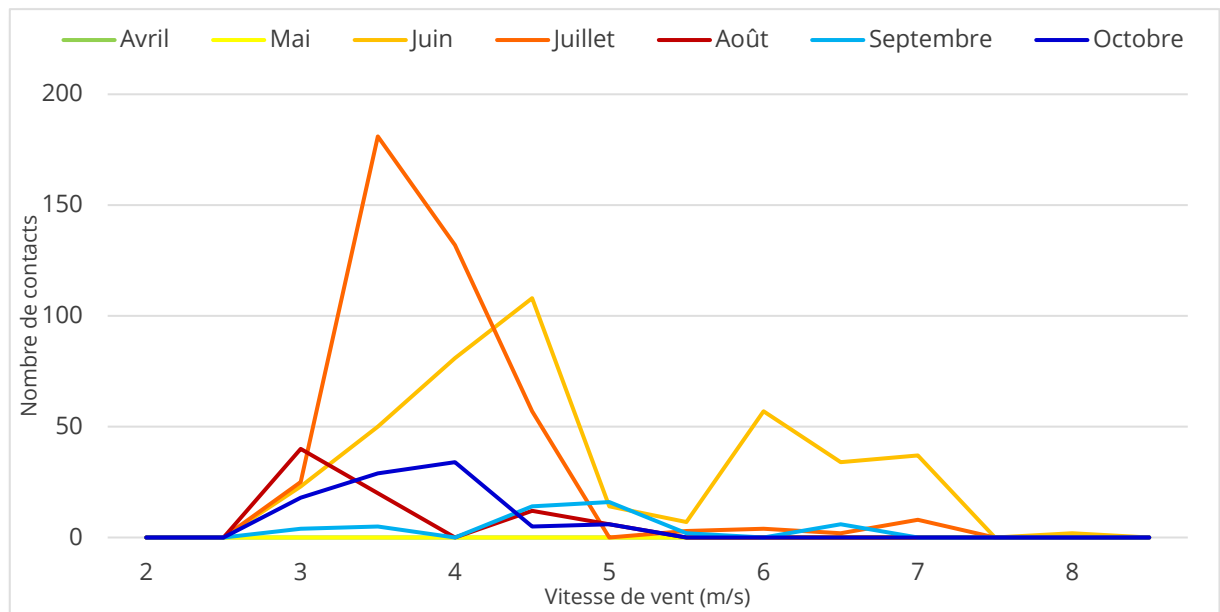


Figure 18 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent

3.2.2 Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle

Au regard des analyses effectuées à partir des enregistrements sur nacelle d'éolienne, les principaux éléments suivants apparaissent :

- la diversité spécifique est faible avec cinq espèces confirmées : Sérotine commune, Noctule de Leisler, Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl et Pipistrelle de Nathusius ;*
- on retrouve au sein des espèces inventoriées, exclusivement des espèces pouvant évoluer en hauteur, en cohérence avec les connaissances bibliographiques. À noter les plus fortes proportions de Pipistrelle commune et de Pipistrelle de Nathusius, comparativement aux autres espèces présentes ;*
- l'activité chiroptérologique est plus importante en juin et juillet. Ces deux mois correspondent à des phases de mise-bas et d'élevage des jeunes. Ainsi, la présence de colonies à proximité du site est probable ;*
- l'activité chiroptérologique en hauteur est éparse tout au long de la nuit sans densification d'activité remarquable, hormis sur les périodes présentant une forte activité (mai à début août et septembre à mi-octobre). Sur ces périodes, l'activité est majoritairement concentrée de 30 minutes à deux heures après le coucher du soleil. De début juin à mi-juillet, l'activité reste importante sur une grosse partie de la nuit, jusqu'à une heure et demie avant le lever du soleil.*
- l'activité chiroptérologique en hauteur est marquée surtout à partir de 13 °C ;*
- l'activité chiroptérologique en hauteur est principalement concentrée entre des vitesses de vent de 2,5 et 7,5 m/s. L'activité présente après ce seuil est plus sporadique.*
- l'enjeu principal sur le site semble concerner la période de mise-bas et d'élevage des jeunes, traduisant potentiellement la présence de colonies à proximité du site. Les proportions remarquables de Pipistrelle commune et de Pipistrelle de Nathusius présentent également un enjeu pour le maintien de ces espèces.*

3.3 Bilan et comparaison avec l'étude d'impact

3.3.1 Diversité spécifique

16 espèces de chauves-souris ont été recensées de manière certaine au travers des différentes études (tableau suivant).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Présence selon les études	
		Étude d'impact de 2017 ⁵	Suivis post-implantation 2022
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastellus barbastellus</i>	X	
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	X	
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	X	
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	X	
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	X	
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	X	
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	X	
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	X	
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	X	
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	X	
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X	X
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce			
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	X	
Total des espèces	15	15	5
Espèce présente durant les deux périodes d'études			

Tableau 32 : Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le site

L'étude d'impact de 2017, incluant les résultats des inventaires chiroptérologiques, a permis de recenser 15 espèces certaines, contre cinq pour les inventaires de 2022.

À noter que les protocoles menés entre les différentes études ont été différents :

⁵ AEPE Gingko, 2017

En 2017 : le cortège chiroptérologique plus large inventorié est lié à une méthodologie ciblant uniquement les espèces au sol.

En 2022 : les inventaires sur nacelle permettent de détecter seulement les espèces de chauves-souris capables d'évoluer en hauteur, à de plus rares exceptions.

Globalement et malgré les différents protocoles utilisés, ceci témoigne d'une diversité spécifique globale modérée.

Les cinq espèces enregistrées lors de l'écoute en nacelle de 2022 ont également été captées lors de l'étude de 2017. Ce sont uniquement des espèces pouvant évoluer en haute altitude : la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune. Ces différences s'expliquent par les protocoles utilisés.

3.3.2 Activité recensée

L'activité n'a pas été quantifiée de façon comparable entre les différentes périodes d'inventaire. Globalement, en 2017 les espèces les plus fréquemment contactées sont la Pipistrelle commune, la Barbastelle d'Europe et le Murin à oreilles échancrées. La fréquentation du site par les chiroptères est décrite ci-dessous :

« La zone d'étude ne constitue pas un site particulièrement notable pour les chiroptères, car aucun taxon n'a une activité supérieure à la valeur Q98% inscrite au référentiel Vigie-chiro.

Néanmoins, selon les chiffres de ce référentiel, le site d'étude constitue une zone particulièrement intéressante pour trois espèces typiques des milieux forestiers (Barbastelle d'Europe, Murin à oreilles échancrées et Murin de Bechstein). Il est important de préciser que ces espèces ne sont pas sensibles à l'éolien. La surface conséquente de vieux boisements localement (gîtes potentiels) et la présence d'une trame verte dense (gîtes et circulation) sur le site d'étude peut expliquer ce résultat.

Pour la Pipistrelle commune, la Sérotine commune et le Murin à moustaches, l'intérêt de la zone se situe dans la norme nationale. Pour les autres espèces inventoriées, l'activité étant faible, le site ne constitue pas une zone à enjeu, mais uniquement un secteur utilisé de manière sporadique.


La Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Nathusius, espèces migratrices contactées sur le site, fréquentent sporadiquement les lieux. La Pipistrelle de Nathusius a été contactée en avril et en mai en activité de chasse (pas de transit actif) au sein de la zone d'étude et la Noctule de Leisler a été contactée une seule fois en transit à l'extérieur du site au sein du vallon boisée situé au Nord. Cela signifie que l'activité de transit migratoire est quasi-inexistante sur le site et semble liée au relief (vallon à l'extérieur du site). Ainsi, il est probable que la zone d'étude immédiate ne constitue pas un secteur de migration des chauves-souris. » (AEPE Gingko, 2017)

En 2022, la Barbastelle d'Europe, le Murin à oreilles échancrées ou encore le Murin de Bechstein n'ont pas été contactés probablement en raison de la hauteur des inventaires. Cependant, la Pipistrelle commune, l'espèce la plus contactée en moyenne par nuit est très bien représentée avec 72 % des contacts. De plus, la Pipistrelle de Nathusius est bien plus représentée en hauteur où elle occupe 16 % de l'activité.

3.4 Principaux éléments à retenir du suivi ICPE

Au terme de la première année de suivi, il apparaît que le cortège des espèces de haut-vol, ou capables d'évoluer en hauteur (sensibles à l'éolien), est toujours présent en 2022 avec la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl, la Sérotine Commune et la Noctule de Leisler. Au vu de la concordance des résultats de l'étude d'impact avec ceux du suivi post-implantation de 2022, nous pouvons conclure que le site reste fréquenté par les chiroptères. Cependant, il est impossible d'évaluer si l'on observe une modification de la fréquentation du site par les populations locales de 2017 (protocoles différents). La fréquentation chiroptérologique du site est maximale sur les mois de juin et de juillet où un tiers des contacts annuels sont regroupés. Cela pourrait s'expliquer par la présence de colonies à proximité. Afin de pouvoir affiner la fréquentation du site et conclure sur des résultats plus fiables une deuxième année d'écoute sur nacelle d'éolienne est programmée en 2023.

En conclusion : le site de Bourbriac présente une activité chiroptérologique modérée notamment sur des espèces particulièrement sensibles à l'éolien. Le plan de bridage préventif adopté dès la mise en fonctionnement du parc éolien reste nécessaire mais la mortalité constatée n'étant pas significative, aucune mesure correctrice n'est préconisée.



4 Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation

4.1.1 Durée moyenne de l'intervalle

La durée moyenne de l'intervalle (I) entre deux prospections est déterminée afin d'être prise en compte dans les calculs d'estimation de la mortalité.

La durée moyenne de l'intervalle est : $I = 7$ jours

4.1.2 Efficacité du chercheur

Le test d'efficacité a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur afin d'inclure ce paramètre dans l'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Chercheur	Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres trouvés
Test 1	Laëtitia VIBERT	10-avr-22	18	17
Test 2	Laëtitia VIBERT	09-août-22	18	15
Total			36	32

Tableau 11 : Résultats des tests d'efficacité

Le coefficient d'efficacité du chercheur est :

Test 1, $d1 = 0.94$ (94 %)

Test 2, $d2 = 0.83$ (83 %)

Moyenne $d = 0.89$ (89 %)

4.1.3 Persistance des cadavres

Le test de persistance a pour but de déterminer différents coefficients liés à la durée de persistance des cadavres. Ces paramètres sont ensuite inclus dans les méthodes d'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre de cadavres restant					
		J0	J+1	J+3	J+6 / J+7	J+9	J+13
T1	10-avr-22	18	17	10	4	2	1
T2	09-août-2022	18	14	12	12	1	0
Total		36	31	22	16	3	1

Tableau 12 : Résultats des tests de persistance

Le second test a commencé le 9 août 2022, ainsi le contrôle J+6 est tombé un jour férié (lundi 15 août 2022, Assomption), il a alors été réalisé le mardi 16 août. La persistance retenue pour les cadavres notés comme disparus ce jour est de cinq jours (moyenne entre les deux passages J+3 et J+7). Cela a été le cas pour 11 des 18 cadavres utilisés pour le test. Une légère surestimation de la persistance est envisagée pour ce test.

La durée moyenne de persistance des cadavres est :

Test 1 : $t_1 = 4.56$ j

Test 2 : $t_2 = 4.00$ j

Moyenne : $t = 4.28$ j

4.1.4 Surfaces prospectées et correction surfacique

La correction surfacique appliquée à l'estimation de la mortalité est calculée d'après les surfaces prospectées sur le terrain (tableau suivant). Celle-ci varie au cours du suivi, notamment en fonction de l'occupation des sols et de leur gestion. Pour rappel, la surface théorique de prospection est de 14 400 m² par éolienne, les pales des éoliennes étant longues de 60 m (soit un quadrat de prospection de 120 m par 120 m), soit 43 200 m² par prospection pour l'ensemble du parc lorsque la totalité de la surface est prospectée.

Sortie	Date	Surface prospectée / éolienne (m ²)				Pourcentage prospecté
		1	2	3	Total	
1	19/04/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
2	25/04/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
3	02/05/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
4	10/05/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
5	16/05/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
6	23/05/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
7	30/05/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
8	06/06/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
9	13/06/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
10	20/06/2022	11 762	8 695	4 825	25 281	58,5
11	27/06/2022	11 762	8 695	4 231	24 688	57,1
12	04/07/2022	11 762	8 695	4 231	24 688	57,1
13	11/07/2022	2 645,6	3 380	4 231	10 257	23,7
14	18/07/2022	2 645,6	3 380	4 231	10 257	23,7
15	25/07/2022	2 645,6	3 380	6 372	12 398	28,7
16	02/08/2022	2 645,6	3 380	5 548	11 574	26,8
17	09/08/2022	2 645,6	3 380	6 372	12 398	28,7

Sortie	Date	Surface prospectée / éolienne (m²)				Pourcentage prospecté
		1	2	3	Total	
18	16/08/2022	2 645,6	3 380	6 372	12 398	28,7
19	22/08/2022	2 645,6	3 380	6 372	12 398	28,7
20	29/08/2022	2 645,6	3 380	6 372	12 398	28,7
21	05/09/2022	2 645,6	8 695	6 372	17 713	41,0
22	12/09/2022	2 645,6	8 695	6 372	17 713	41,0
23	19/09/2022	2 645,6	8 695	6 372	17 713	41,0
24	26/09/2022	5 849,2	8 695	6 372	20 917	48,4
25	03/10/2022	5 849,2	8 695	1 618	16 162	37,4
26	11/10/2022	7 023,2	8 695	1 618	17 336	40,1
27	18/10/2022	12 233,8	8 695	3 007	23 935	55,4
28	24/10/2022	12 233,8	8 695	3 007	23 935	55,4
Moyenne sur l'ensemble du suivi		7 622,46	7 176,43	4 904,22	19703,10	45,61
A		1,89	2,01	2,94	2,19	
Pourcentage prospecté / éolienne		52,9	49,8	34		

Tableau 13 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés

La proportion moyenne de surface prospectée sur l'ensemble du suivi est de 0,456 (45.6 %)
Le coefficient de correction surfacique moyen sur l'ensemble du parc et des prospections est de : A = 2,19.

4.2 Mortalité de l'avifaune

4.2.1 Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien

4.2.1.1 Les principaux facteurs de mortalité de l'avifaune

À l'exception des parcs éoliens denses et situés dans des zones particulièrement riches en oiseaux, la mortalité par collision est généralement faible par rapport aux autres activités humaines (tableau suivant). Le taux de mortalité varie selon les parcs de 0 à 60 oiseaux par éolienne et par an (programme « éolien biodiversité » - parcs européens). Ces chiffres dépendent de la configuration du parc éolien, de la densité et des caractéristiques des oiseaux qui fréquentent le site, du relief, et plus globalement, des caractéristiques topographiques et paysagères (présence de voies de passage, de haies, de zones d'ascendance thermique). À titre de comparaison, le réseau routier serait responsable de la mort de 30 à 100 oiseaux par km/an, le réseau électrique de 40 à 120 oiseaux par km/an.

Cause de mortalité	Commentaires
Ligne électrique haute tension (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 100 000 km
Ligne moyenne tension (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 460 000 km
Autoroute, route	Autoroute : 30 à 100 oiseaux/km/an ; réseau terrestre de 10 000 km
Chasse (et braconnage)	Plusieurs millions d'oiseaux chaque année
Agriculture	Evolution des pratiques agricoles, pesticides, drainage des zones humides.
Urbanisation	Collision avec les bâtiments (baies vitrées), les tours et les émetteurs.
Eoliennes	0 à 10 oiseaux / éolienne / an ; 2456 éoliennes en 2008, environ 10000 en 2020

Tableau 14 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE)

Les différentes espèces interagissent différemment face à un parc éolien :

- les espèces plus sensibles à l'effarouchement (limicoles, anatidés, grues, aigles, etc.), sont plus méfiantes vis-à-vis des éoliennes en mouvement et par conséquent moins sensibles au risque de collision ;
- les espèces moins farouches sont potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.).

4.2.1.1.1 Situations et facteurs à risques

De manière générale, certaines situations peuvent accroître les risques de collision. Les principaux critères sont :

- les hauteurs et types de vol des espèces,
- le comportement de chasse chez les rapaces,
- les phénomènes de regroupement des espèces en migration, notamment chez les migrateurs nocturnes,
- les conditions de brouillard ou de nuages bas et les vents forts de face.

4.2.1.1.2 Sensibilité et vulnérabilité des espèces

Il est possible de déterminer un **indice de sensibilité** des espèces d'oiseaux vis-à-vis du risque de collision en se basant sur les cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 2022) et sur l'abondance des espèces (BirdLife International, 2017). Un niveau de sensibilité de 0 à 4 a ainsi été attribué à chaque espèce présente en Europe.

Ainsi, trois rapaces sont définis comme les espèces les plus sensibles (niveau 4). Il s'agit du Vautour fauve, du Milan royal et du Pygargue à queue blanche. 17 espèces, dont le Circaète Jean-le-Blanc, le Milan noir, le Grand-duc d'Europe, le Balbuzard pêcheur, le Faucon pèlerin et le Faucon crécerellette atteignent le niveau de sensibilité 3.

Afin de déterminer les enjeux induits par le risque éolien sur la conservation d'une espèce, un **indice de vulnérabilité** peut être calculé. Cet indice couple ainsi la sensibilité au risque de collision et le statut UICN national. Cette méthode est synthétisée dans la figure suivante, issue du « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » de novembre 2015.

IV. Enjeux de conservation	III. Sensibilité à l'éolien				
	0	1	2	3	4
Espèce non protégée	0,5				
DD, NA, NE =1	0,5	1	1,5	2	2,5
LC = 2	1	1,5	2	2,5	3
NT = 3	1,5	2	2,5	3	3,5
VU = 4	2	2,5	3	3,5	4
CR-EN = 5	2,5	3	3,5	4	4,5

DD : Données insuffisantes, **NA** : Non applicable, espèce non soumise à l'évaluation car : introduite après l'année 1500 ; présente de manière occasionnelle ou marginale et non observée chaque année en métropole ; régulièrement présente en hivernage ou en passage mais ne remplissant pas les critères d'une présence significative ; ou régulièrement présente en hivernage ou en passage mais pour laquelle le manque de données disponibles ne permet pas de confirmer que les critères d'une présence significative sont remplis, **NE** : Non évaluée : espèce n'ayant pas été confrontée aux critères de l'UICN, **LC** : préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible), **NT** : quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises), **VU** : vulnérable, **EN** : en danger, **CR** : en danger critique

Figure 19 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)

4.2.1.1.3 Espèces les plus impactées

Les rapaces et migrateurs nocturnes (roitelets, martinets etc.) sont des espèces généralement considérées comme les plus exposées au risque de collision avec les turbines (« Impact des éoliennes sur les oiseaux », ONCFS, 2014).

Certains rapaces, en particulier les espèces à tendance nécrophage tels les milans, la Buse variable ou encore les busards, peuvent être attirés sur les parcelles cultivées lors des travaux agricoles (notamment la fauche des prairies au printemps et les moissons en été) et par l'ouverture des milieux liée au défrichement.

Pendant les migrations, les impacts semblent survenir plus particulièrement la nuit. Les espèces qui ne migrent que de jour (rapaces, cigognes, fringilles, etc.) sont généralement capables d'adapter leurs trajectoires à distance. En effet, comme cela a été démontré dans l'étude d'Abies (2002), 88 % des oiseaux changent leur trajectoire à la vue des éoliennes. Ces comportements d'anticipation participent à la réduction des situations à risques.

4.2.1.2 Bilans national et européen de la mortalité de l'avifaune

Le bilan national suivant s'appuie sur le rapport « le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, LPO, 2017 ».

En France, 5 156 éoliennes étaient déjà construites et en fonctionnement en avril 2016, et 1 017 autres ont obtenu un permis de construire et d'exploitation. Les parcs en France ont en moyenne 7,7 machines d'une hauteur moyenne de 139 mètres en bout de pale. Sur l'ensemble des éoliennes du parc français, seulement 645 ont fait l'objet d'un suivi de la mortalité, soit 12,5 %.

Parmi les suivis réalisés, seuls 80% ont été effectués sur une surface d'au moins 1 ha. Le nombre de prospections est variable, allant d'un passage à l'année à plusieurs passages par semaine tout au long de l'année. Au total 37 839 prospections ont été réalisées, le plus souvent au printemps, en été et en automne.

Au total, 31 parcs possèdent un suivi acceptable (au moins 26 semaines de suivi avec un passage par semaine). Lors de ces suivis, 485 cadavres ont été notés sur 189 éoliennes soit environ 1,24 oiseau/éolienne/an.

Si l'on se concentre sur les neuf parcs ayant fait l'objet d'un suivi plus robuste (au moins une sortie par semaine pendant 48 semaines lors d'une année sur une surface d'au moins 50 mètres autour de l'éolienne), on dénombre 293 cadavres d'oiseaux pour 49 éoliennes, soit un ratio de 2,15 oiseaux/éolienne/an. Pour remarque : « [...] les neuf parcs évoqués ci-dessus se trouvent soit en ZPS (pour 5 d'entre eux), soit à proximité immédiate (476 m, 574 m, 1 027 m et 1 874 m de la ZPS la plus proche) [...] ». Ainsi en fonction des parcs et des suivis, la mortalité brute varie entre 1,24 à 2,15 oiseaux/éolienne/an.

Pour finir, huit parcs ont fait l'objet d'estimation selon les quatre méthodes préconisées soit 1,38 % des éoliennes françaises. Ces parcs possèdent tous une sensibilité particulière : proximité d'une ZPS, de forêts de feuillus ou présence d'une mosaïque de milieux. Les estimations sont comprises entre 0,3 et 26,8 oiseaux/éolienne/an. Toutefois, une fois exclu des calculs un parc comprenant une forte mortalité

de pigeons (présence d'un silo à grain à proximité), la mortalité estimée est de 0,3 à 7,6 oiseaux/éolienne/an, soit une moyenne de 4,2 et une médiane de 3,6.

D'un point de vue qualitatif (figure suivante et Annexe 4), les groupes d'espèces les plus impactés en Europe sont, par ordre décroissant, les Passeriformes, les Accipitriformes, les Charadriiformes puis les Falconiformes (d'après Dürr, 2022).

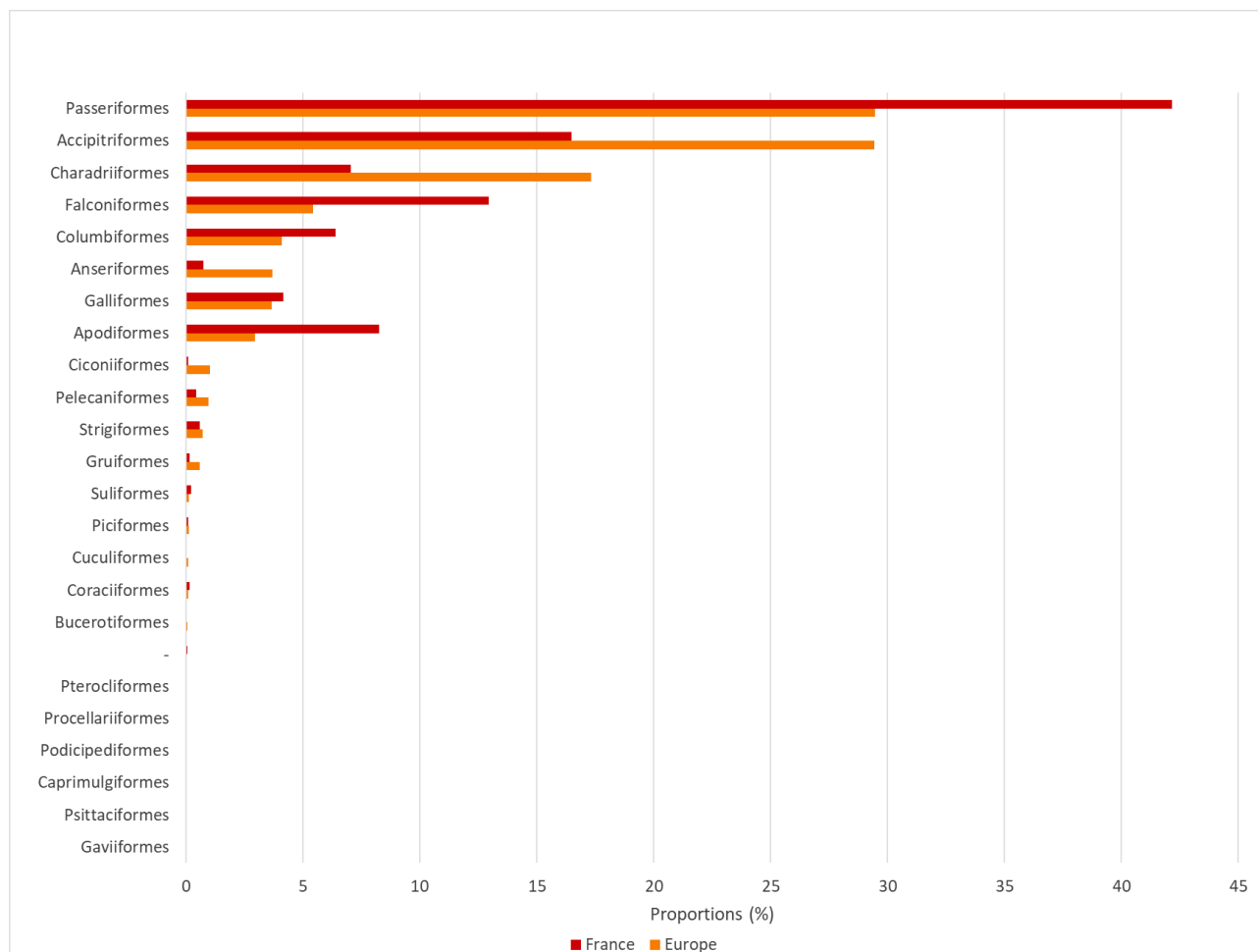


Figure 20 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022)

4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'étude d'impact, réalisée en 2017 (complétée en 2018) par le bureau d'étude AEPE Gingko, a révélé la présence de sept espèces patrimoniales mais dont la vulnérabilité à la mortalité éolienne n'est que très faible :

- Alouette lulu
- Busard Saint-Martin
- Bruant jaune
- Engoulevent d'Europe
- Épervier d'Europe
- Pouillot fitis
- Roitelet à triple bandeau

Espèce patrimoniale concernée	Période concernée	Indice de patrimonialité				Sensibilité à l'éolien		Vulnérabilité à la mortalité éolienne
		Protection nationale	Directive Oiseaux	Listes rouges*	Note	Note		
		Non protégée=0 ; Protégée=1	Annexe I=1	LC,DD,NA,NE=0 ; NT=1 ; VU=2 ; EN/CR=3				
Epervier d'Europe	Hivernage	Oui	Annexe I	NA	2	2	Très faible	
Alouette lulu	Hivernage	Oui	Annexe I	NA	2	1	Très faible	
Busard St-Martin	Migration	Oui	Annexe I	NA	2	2	Très faible	
Bruant jaune	Nidification	Oui	/	VU/NT	2,5	0	Très faible	
Engoulevent d'Europe	Nidification	Oui	Annexe I	LC	2	0	Très faible	
Pouillot fitis	Nidification	Oui	/	NT/EN	3	0	Très faible	
Roitelet à triple bandeau	Nidification	Oui	/	LC	1	0	Très faible	

**Listes rouges : moyenne entre la Liste rouge nationale et la Liste rouge régionale ou document équivalent. S'il n'y a pas de Liste rouge régionale, seule la Liste rouge nationale est considérée*

Figure 21 : Espèces patrimoniales, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Gingko)

En revanche, parmi les espèces non patrimoniales, deux espèces présentent un indice de sensibilité à l'éolien fort (3 sur une note maximale de 4) : le Faucon crécerelle et le Goéland argenté, dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (figure suivante).

Nom Latin	Nom Français	Sensibilité à l'éolien
<i>Buteo buteo</i>	Buse variable	2
<i>Falco tinnunculus</i>	Faucon crécerelle	3
<i>Larus argentatus</i>	Goéland argenté	3
<i>Turdus viscivorus</i>	Grive draine	1
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	1
<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier	1
<i>Pluvialis apricaria</i>	Pluvier doré	1

Figure 22 : Espèces non patrimoniales et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Gingko)

4.2.3 Résultats globaux du suivi de la mortalité sur l'avifaune en 2022

4.2.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Bourbriac, deux cadavres de Corneille noire ont été retrouvés (tableau suivant). Cela représente une mortalité brute de 0,67 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de mi-avril à fin-octobre, soit 28 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,02 individu / éolienne / sortie.

Les deux individus ont été retrouvés le même jour (13 juin 2022) sous l'éolienne E1, à quelques mètres d'écart. Les deux individus ont été identifiés comme étant des juvéniles. Cette espèce ne présente pas de dimorphisme sexuel, ainsi le sexe n'a pu être déterminé.

Avec deux cadavres d'oiseaux recensés, la mortalité brute observée sur le parc de Bourbriac est de 0,67 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de mi-avril à fin octobre 2022.

4.2.3.2 Mortalité estimée

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi, selon les différentes méthodes retenues (estimations calculées *via* le logiciel EolApp du CEFÉ Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

Méthodes	Mortalité estimée				Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
	Globale	/ éolienne	/ sortie	/ éolienne / sortie	
Erickson	8,17	2,72	0,29	0,10	3,01 – 21,57
Huso	10,17	3,39	0,36	0,12	3,80 – 26,68
Jones	11,35	3,78	0,41	0,13	4,21 – 29,75

Tableau 15 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de huit à 11 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre trois et 30, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La mortalité estimée est très élevée en comparaison de la mortalité brute (n = 2).

La **précision des estimations est jugée insuffisante** pour pouvoir interpréter les résultats (intervalles de confiance).

Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives liées à la persistance des cadavres, qui reflète une forte prédation sur le parc de Bourbriac (persistance = 4,28 jours). En outre, la correction surfacique est assez élevée étant donné le grand nombre de zones non prospectables autour des éoliennes, dû notamment à la présence de haies et bosquets. Ceci indique pourquoi la précision des estimations est si peu élevée.

4.2.4 Résultats saisonniers

4.2.4.1 Mortalité brute

Au cours de ce suivi, les deux cadavres d'oiseaux ont été retrouvés au cours de la même journée, soit le 13 juin 2022, période qui correspond généralement à la phase de reproduction. Seule la période hivernale n'a pas été prospectée.

Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire entre les différentes périodes biologiques. De plus, étant donné les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient aussi été mortifères lors du suivi.

Les individus juvéniles ont été retrouvés en période de reproduction, dont leur âge (1^{ère} année) permet de certifier de la reproduction sur le parc éolien de Bourbriac.

4.2.4.2 Mortalité estimée

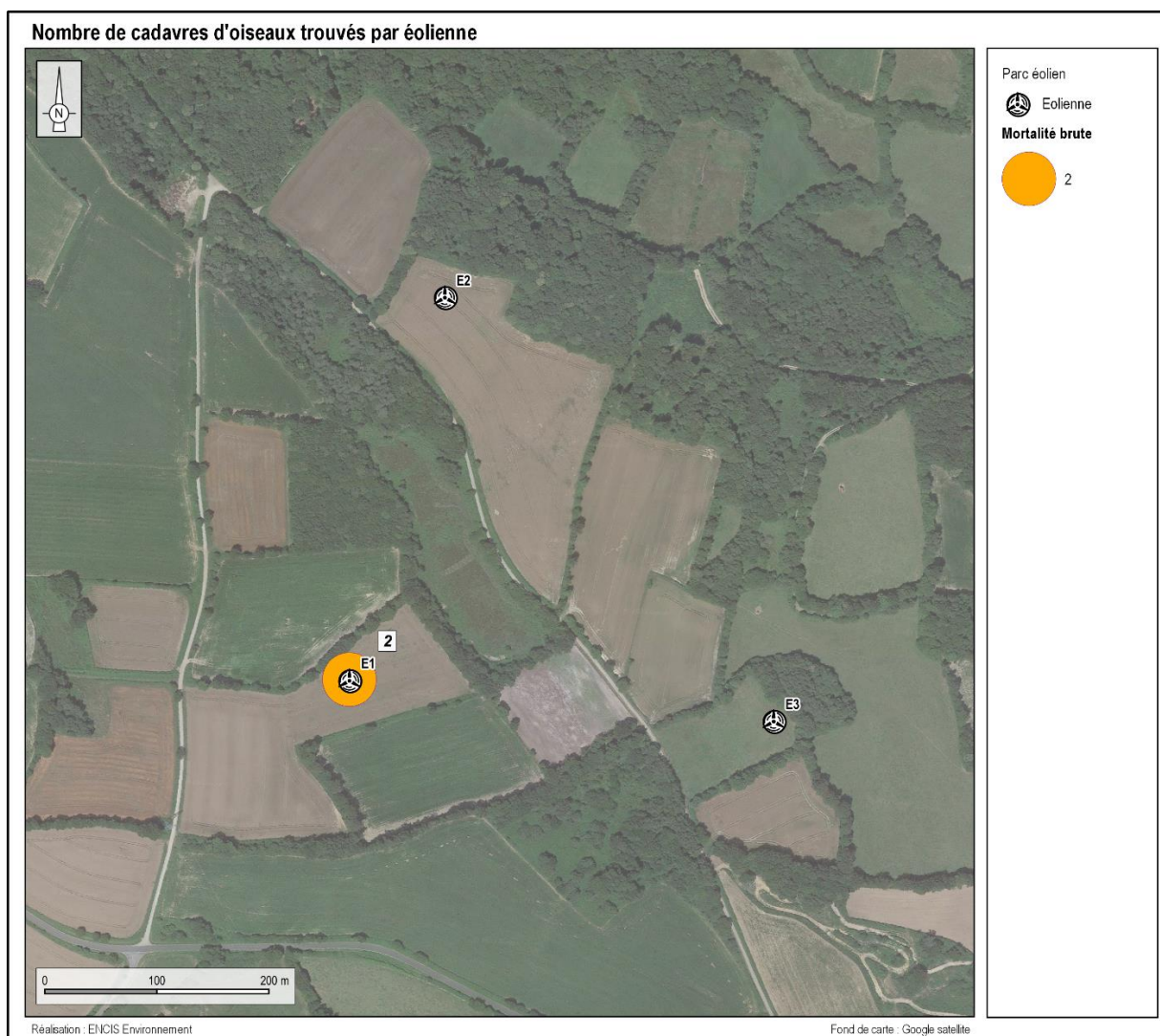
Compte-tenu du faible nombre de données, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

Seule la période de reproduction est concernée par des cas de mortalité, ce qui ne permet pas de dégager une tendance à l'échelle du parc sur la période de suivi.

4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne

4.2.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, les deux Corneilles noires ont été retrouvées sous l'éolienne E1 (carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que, notamment, la prédation, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.



Carte 5 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne

Un nid de Corneilles noires a été repéré à proximité du parc éolien sur un pylône au sud-ouest de l'éolienne E1. Cette proximité du nid vis-à-vis de l'éolienne semblerait être la cause de cette mortalité observée, au vu de l'orientation des individus vis-à-vis de l'éolienne.

4.2.5.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

Seule l'éolienne E1 est concernée par deux cas de mortalité, ce qui ne permet pas de dégager une tendance à l'échelle du parc sur la période de suivi.

4.2.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien

Il existe de nombreux facteurs pouvant engendrer ou accroître les risques de collision des oiseaux avec les turbines. Ceux-ci peuvent être liés à :

- l'espèce (sensibilité),
- la période (comportements à risque, abondance des individus, etc.),
- la localisation du parc et son agencement (relief, présence d'un couloir de migration, présence de boisements, etc.),
- les conditions météorologiques (brouillard, vent, etc.).

L'origine d'une collision est le plus souvent liée à un recoupement de plusieurs de ces facteurs. Il convient ainsi, lorsque cela est possible, de les identifier afin de déterminer les causes principales de la mortalité sur le parc éolien, et si cela est justifié, d'appliquer d'éventuelles mesures correctrices.

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, plusieurs causes récurrentes peuvent être à l'origine de la mortalité sur le parc de Bourbriac :

4.2.6.1.1 Causes saisonnières

Les oiseaux juvéniles ont tendance à montrer peu de signes d'effarouchement vis-à-vis des éoliennes, en raison de leur caractère plus joueur et explorateur.

4.2.6.1.2 Causes spatiales

Deux Corneilles noires juvéniles ont été retrouvées au pied de l'éolienne E1, et d'après les observations de terrain, il semble très probable que ces deux individus soient issus de la nichée provenant du pylône THT situé juste devant l'éolienne.

Les corvidés sont des oiseaux réputés pour leurs capacités cognitives, et notamment connus pour "veiller leurs morts", bien que les causes de ces rassemblements pouvant durer plusieurs jours. Il est possible qu'un rassemblement de ce genre soit à la source de cette double mortalité, le deuxième individu, juvénile et peu averti, ayant pu se faire happer par les pales de l'éolienne, à l'instar de son congénère qu'il venait "veiller".

L'hypothèse de la proximité du nid et d'une collision accidentelle avec les pales par manque d'effarouchement semble être la plus probable dans ce cas présent.

Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à :

- **Proximité de l'éolienne E1, d'un nid de corvidés sur un pylône THT.**
- **Comportement joueur et explorateur des juvéniles, ainsi que l'absence de comportement d'effarouchement vis-à-vis des éoliennes.**
- **Probable collision accidentelle résultant de la combinaison de ces facteurs.**

4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune

4.2.7.1 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation de l'espèce ayant été directement impactée par le parc de Bourbriac, ainsi que sa sensibilité et sa vulnérabilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Ordre	Espèce	Statut de protection		Statuts de conservation national (UICN)			Risque de collision		Effectifs
		Directive oiseaux	Oiseaux protégés (France)	Nicheur	Hivernant	Migrateur	Sensibilité	Vulnérabilité*	
Passeriformes	Corneille noire	Annexe II/2	-	LC	NA	-	0	1	2

LC : Préoccupation mineure / NA : Non applicable / *(de la phase biologique concernée)

Tableau 16 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

Au regard des statuts de conservation correspondant à la phase du cycle biologique des individus découverts et des indices de sensibilité et de vulnérabilité au risque de collision, la Corneille noire n'est pas à considérer avec vigilance sur le parc de Bourbriac.

L'espèce découverte ne présente pas un état de conservation défavorable à l'échelle nationale en période de reproduction. Par ailleurs, la Corneille noire n'est pas sujette à une sensibilité (0) et une vulnérabilité (1) élevées face au risque de collision.

4.2.7.2 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux élevés ciblées lors de l'étude d'impact de 2017 (complétée en 2018) par le bureau d'étude AEPE Gingko, aucun cas de mortalité n'a été avéré.

Parmi les espèces à enjeu, ciblées lors de l'étude d'impact, aucun cas de mortalité n'a été avéré. Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Bourbriac ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce particulière. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité durant les prochaines années de suivi.

4.2.8 Synthèse

- ***La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (mi-avril à fin octobre 2022) est de deux Corneilles noires juvéniles, retrouvées le même jour.***
- ***La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir interpréter les résultats de la mortalité estimée (intervalles de confiance). Ces résultats ne remettent pas en question le protocole utilisé, le nombre de passage notamment, au regard des bons résultats obtenus lors des tests de détection (89 %) et de persistance (4,28 jours).***
- ***Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à la proximité d'un nid de corvidés sur un pylône THT, du comportement joueur et explorateur des juvéniles, ainsi que de l'absence de comportement d'effarouchement vis-à-vis des éoliennes.***
- ***La mortalité ne présente pas d'impact significatif sur la population de Corneille noire. Le parc éolien de Bourbriac ne nécessite pas de la mise en place de mesures complémentaires.***

4.3 Mortalité des chiroptères

4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien

4.3.1.1 Les principaux facteurs de la mortalité des chiroptères

La mortalité des chauves-souris peut être liée à différents facteurs : collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, etc.

La mortalité par contact direct ou indirect avec les aérogénérateurs reste l'impact le plus significatif des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann *et al.*, 2011). Ces collisions ont pour conséquence des blessures létales ou sublétales (Grodsky *et al.*, 2011).

La synthèse bibliographique d'Eva Schuster (Schuster *et al.*, 2015) s'est appuyée sur plus de 220 publications scientifiques dans le but de dresser un état des lieux des connaissances en la matière et de confronter ces différentes hypothèses. Cette publication sert de base à la synthèse suivante.

4.3.1.1.1 Mortalité indirecte

Outre la mortalité la plus évidente résultant de la collision directe des chauves-souris avec les pales des éoliennes, d'autres cas de mortalité indirecte sont documentés :

- un **phénomène de pression/décompression** se produit lors de la rotation des pales et de leur passage devant le mat. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité des pales, nommées barotraumatismes ;
- la rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer **un vortex** (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.*, 2008) ;
- les **courants d'air créés par la rotation des pales** seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al.*, 2011) ;
- les **collisions sublétales** où des individus percutés par des pales pourraient survivre pendant un temps. Ce type de collision aboutit potentiellement au décès des individus mais pourraient ne pas être comptabilisé lors des suivis si ceux-ci ont pu s'éloigner du rayon de recherche entre-temps.

4.3.1.1.2 La saisonnalité, les conditions météorologiques ou le type d'habitat, comme facteurs de mortalité par collision fortuite

La majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la **saisonnalité** joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique et donc la mortalité sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne (Arnett *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002 ; Doty & Martin, 2012 ; Hull & Cawthen, 2013 ; Brinkmann *et al.*, 2006, 2011 ; Grodsky *et al.*, 2012 ; etc.).

Les **conditions météorologiques** influent directement ou indirectement sur la disponibilité en ressources alimentaires (notamment les insectes pour les chauves-souris européennes) et sur les conditions de vol des chiroptères, donc sur le taux de mortalité par collision (Baerwald & Barclay, 2011).

Le paramètre le plus influent semble être la vitesse du vent. Rydell *et al.* (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s, puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Behr *et al.* (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s.

La température semble également jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell *et al.*, 2006 ; Arnett *et al.*, 2006, 2007 ; Baerwald & Barclay, 2011 ; etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant de manière indépendante sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). La pression atmosphérique (Cryan & Brown, 2007 ; Kern *et al.*, 2005), le rayonnement lunaire (Baerwald & Barclay, 2011 ; Cryan *et al.*, 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.*, 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.*, (2011) ou sur l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp, 2001).

Le nombre de cadavres trouvés sous les éoliennes varie également en fonction de l'**environnement immédiat** du parc, de la configuration des aérogénérateurs (distance entre le mât et les structures arborées) et de leurs caractéristiques (hauteur du moyeu et longueur des pales).

4.3.1.1.3 Des comportements à risques de collision, facteurs de mortalité

Comme détaillé précédemment, la saisonnalité joue un rôle particulier dans le niveau d'activité des populations de chiroptères. Les plus forts taux de mortalité sont ainsi généralement recensés en fin d'été - début d'automne, ce qui sous-entend un lien entre mortalité et migration automnale.

Lors des **migrations**, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach, 2001 in Behr *et al.*, 2007 ; Johnson *et al.*, 2003).

Les comportements de chasse, de reproduction ou de swarming sont également des comportements à risque de collision. Horn *et al.* (2008) mettent ainsi en évidence une corrélation positive entre activité d'insectes et de chauves-souris dans les deux premières heures de la nuit.

En période de reproduction ou lors de recherches de gîtes de mise-bas ou de transit, les chiroptères arboricoles recherchent des cavités, des fissures et des décollements d'écorce où s'installer. La silhouette d'une éolienne pourrait ainsi être confondue avec celle d'un arbre en milieu ouvert (Cryan *et al.*, 2014 ; Kunz *et al.*, 2007), entraînant une exploration de l'ensemble de la structure par les chauves-souris et augmentant ainsi le risque de collision.

Enfin, à proximité des gîtes de mise-bas ou de lieux de swarming, des regroupements importants de chiroptères peuvent avoir lieu, résultant en une augmentation conséquente du nombre d'individus et de l'activité autour du site, ainsi qu'en un rassemblement d'individus volant autour des entrées. Cela implique nécessairement un risque accru de mortalité par collision.

La morphologie et les spécificités écologiques de certaines espèces semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.* (2010) ont ainsi mis en évidence des similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces glaneuses de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell *et al.* (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques.

4.3.1.1.4 Sensibilité et vulnérabilité des espèces

La sensibilité et la vulnérabilité sont regroupées sous la forme d'un seul coefficient pour les chiroptères. L'indice utilisé est ainsi la **note de risque**. Cette note, comprise entre 1 et 4, correspond au croisement entre le statut de conservation UICN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclus ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces.** Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statuts de protection	Statuts Listes rouges (UICN)			Mortalité de DURR par éoliennes 2022**						Note de risque***
						0	1	2	3	4	% de mortalité européenne connue	
			Directive Habitats	Monde	Europe	France	0	1-10	11-50	51-499		
Rhinolophe de Mehely**	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	Annexe II & IV	VU	VU	CR = 5		X				0,01	3*
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Annexe II & IV	NT	NT	VU = 4			X			0,12	3*
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Annexe II & IV	VU	VU	NT = 3	X					0	1,5
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2	X					0	1
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2		X				0,01	1,5*
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Annexe II & IV	NT	VU	NT = 3		X				0,02	2*
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Annexe II & IV	LC	NT	NT = 3		X				0,06	2*
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	6,83	3,5

Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU = 4					X	14,67	4
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	15,09	3,5
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2	X					0	1
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3				X		0,76	3
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2		X				0,05	1,5*
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1			X			0,41	1,5
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3				X		1,18	3
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		3,12	2,5
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Annexe IV	DD	DD	LC = 2	X					0	1
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,02	1,5
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2			X			0,1	2
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2		X				0,05	1,5*
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2		X				0,06	1,5*
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,05	1,5
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,04	1,5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		4,28	2,5
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	23,32	3,5
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		4,13	2,5
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,07	1,5
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,08	1,5
Murin d'Escalera	<i>Myotis escaleraei</i>	NE	NE	/	VU = 4	X					0	2*
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Annexe IV	NT	DD	VU = 4			X			0,37	3*
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrotus</i>	Annexe IV	LC	NT	VU = 4	X					0	2

Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1				X		1,97	2
Murin des marais**	<i>Myotis dasycneme</i>	Annexe II & IV	NT	NT	EN=5		X				0,03	3*
DD : Données insuffisantes LC : Préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible) NT : Quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises) VU : Vulnérable EN : En danger CR : En danger critique d'extinction NA : Non applicable (espèce non soumise à évaluation car introduite dans la période récente ou présente en métropole de manière occasionnelle ou marginale) * Arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection ** Espèce faisant partie de la liste des vertébrés protégés menacés d'extinction et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département (Arrêté di 9 juillet 1999)										* : surclassement possible localement pour les espèces forestières si implantation en forêt, et les espèces fortement grégaires (proximité d'importantes nurseries ou de sites d'hibernation majeurs) **Mortalité de DURR par éoliennes 2022 (Europe) : informations reçues au 17/06/2022 ***Note calculée par ENCIS sur la base de la SFPEM 2015 avec la mise à jour de la mortalité de DURR : mise à jour le 05/09/2022		

Tableau 59 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes

4.3.1.2 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères

3 106 cas de collision avec les éoliennes ont été recensés en France au 17 juin 2022 (Dürr, 2022). L'espèce la plus fortement impactée (environ 35 %) est de loin la Pipistrelle commune (cf. Annexe 4 et figure suivante). La Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl et les pipistrelles indéterminées sont retrouvées dans de plus faibles proportions (environ 8 à 11 % pour chaque espèce). Enfin, dans des proportions encore plus faibles, la Pipistrelle pygmée (6 %), la Noctule de Leisler (5 %), la Noctule commune (4 %), le Vespère de Savi (2 %) et la Sérotine commune (1 %) sont identifiés. Il est précisé qu'environ 15 % des chiroptères retrouvées restent indéterminés.

Au niveau européen, la Pipistrelle commune est aussi l'espèce la plus impactée, suivie par la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et les pipistrelles indéterminées.

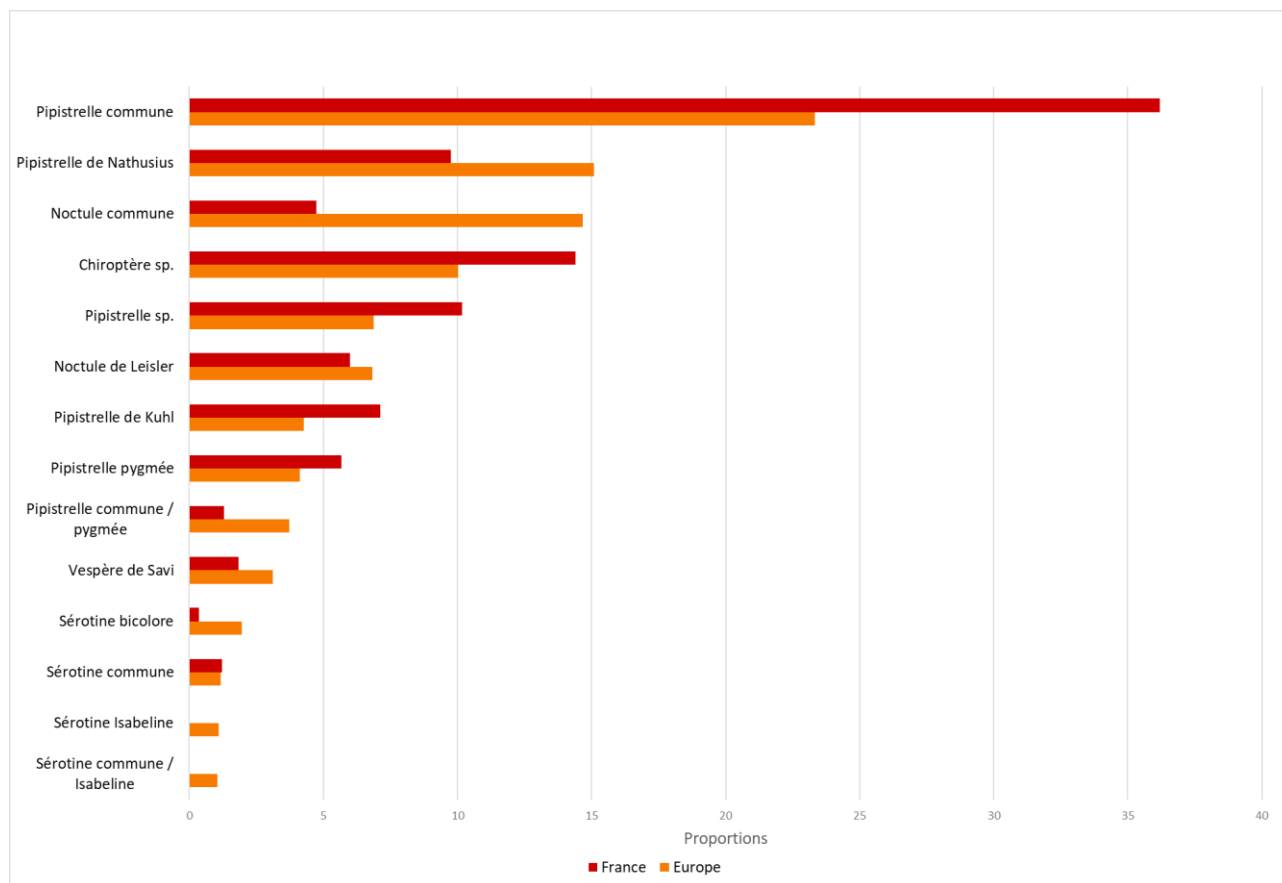


Figure 23 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2022)

4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'étude d'impact, réalisée en 2017 (complétée en 2018) par le bureau d'étude AEPE Gingko, a révélé la présence de deux espèces à enjeux et sensibilités forts au risque de collision et trois espèces à enjeux et sensibilités moyens dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (figure suivante) :

Indice de vulnérabilité fort :

- Pipistrelle commune
- Pipistrelle de Nathusius

Indice de vulnérabilité moyen :

- Sérotine commune
- Grand Rhinolophe
- Noctule de Leisler

Espèce patrimoniale concernée	Indice de patrimonialité				Sensibilité à l'éolien	Indice de vulnérabilité à la mortalité éolienne (collision ou barotraumatisme)
	Protection nationale (arr. 23/04/07)	Directive Habitats-Faune-Flore	Listes rouges*	Note	Note	
	Non protégée=0 ; Protégée=1	Annexe II&IV=1 Annexe IV=0	LC, NA, NE=0 ; NT/DD=1 ; VU=2 ; EN/CR=3			
Pipistrelle commune	Oui	Ann IV	NT/LC	1,5	4	Fort
Pipistrelle de Nathusius	Oui	Ann IV	NT/NT	2	4	Fort
Sérotine commune	Oui	Ann IV	NT/LC	1,5	3	Moyen
Grand Rhinolophe	Oui	Ann II & IV	LC/EN	3,5	1	Moyen
Noctule de Leisler	Oui	Ann IV	NT/NT	2	3	Moyen
Pipistrelle de Kuhl	Oui	Ann IV	LC/LC	1	3	Faible
Barbastelle d'Europe	Oui	Ann II & IV	LC/NT	1,5	1	Faible
Grand Murin	Oui	Ann II & IV	LC/NT	2,5	1	Faible
Murin à Oreilles échancrées	Oui	Ann II & IV	LC/NT	2,5	1	Faible
Murin de Bechstein	Oui	Ann II & IV	NT/NT	3	1	Faible
Murin sp.	Oui	Ann II & IV	NT/NT	3	1	Faible
Murin de Natterer	Oui	Ann II & IV	LC/NT	2,5	0	Très faible
Murin à moustaches	Oui	Ann IV	LC/LC	1	1	Très faible
Murin de Daubenton	Oui	Ann IV	LC/LC	1	1	Très faible
Oreillard gris	Oui	Ann IV	LC/LC	1	1	Très faible
Oreillard roux	Oui	Ann IV	LC/LC	1	1	Très faible
Petit Rhinolophe	Oui	Ann II & IV	LC/LC	2	0	Très faible

*Listes rouges : moyenne entre la Liste rouge nationale et la Liste rouge régionale ou document équivalent. S'il n'y a pas de Liste rouge régionale, seule la Liste rouge nationale est considérée

Figure 24 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Ginkgo)

4.3.3 Résultats globaux du suivi de la mortalité sur les chiroptères en 2022

4.3.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Bourbriac, un unique cadavre de chiroptère a été retrouvé, il s'agit d'une Pipistrelle commune (tableau suivant). Cela représente une mortalité brute de 0,33 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de mi-avril à fin-octobre, soit 28 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,012 individu / éolienne / sortie.

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques du cadavre recensé durant le suivi.

Date	Espèce	Éolienne	Statut	Sexe	Âge
20/06/2022	Pipistrelle commune	E3	Mise-bas et élevage des jeunes	-	-

Tableau 23 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité

Avec un seul cadavre recensé, celui d'une Pipistrelle commune, la mortalité brute observée sur le parc de Bourbriac est de 0,33 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de mi-avril à fin octobre 2022.

4.3.3.2 Mortalité estimée

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi, selon les différentes méthodes retenues (estimations calculées *via* le logiciel EolApp du CEFÉ Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

Méthodes	Mortalité estimée				Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
	Globale	/éolienne	/sortie	/éolienne/sortie	
Erickson	4,05	1,35	0,14	0,05	1 - 29,04
Huso	5,05	1,68	0,18	0,06	1 - 36,45
Jones	5,63	1,88	0,20	0,07	1 - 40,47

Tableau 17 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de quatre à six individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre un et 40, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La mortalité estimée est élevée en comparaison de la mortalité brute ($n = 1$).

La **précision des estimations est jugée insuffisante** pour pouvoir interpréter les résultats (intervalles de confiance).

Les paramètres correcteurs ont un impact fort. La valeur corrective liée à la persistance des cadavres reflète une forte prédation sur le parc de Bourbriac (persistance = 4,28 jours). La correction surfacique est assez élevée étant donné le grand nombre de zones non prospectables autour des éoliennes, dû notamment à la présence de haies et bosquets. Ceci indique pourquoi la précision des estimations est si peu élevée.

4.3.4 Résultats saisonniers

4.3.4.1 Mortalité brute

Au cours de ce suivi, la Pipistrelle commune a été retrouvée durant le mois de juin (20 juin 2022). Aucun autre cadavre n'a été découvert durant le suivi. Ainsi, seule la période de mise-bas et d'élevage des jeunes est concernée par un cas de mortalité.

Cette unique donnée ne permet pas de dégager une tendance claire entre les différentes périodes (transit printanier, mise-bas et élevage des jeunes, transit automnal). De plus, étant donnés les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient aussi été mortifères lors du suivi. L'absence de mortalité observée n'est pas synonyme d'absence de mortalité réelle.

Étant donnée la date de découverte et compte tenu de la biologie de l'espèce, la Pipistrelle commune découverte le 20 juin 2022 était très probablement en phase de mise-bas et d'élevage des jeunes. Cette période estivale est couverte par la mesure préventive spécifiée dans l'arrêté préfectoral. Une collision accidentelle semble probable.

À la vue de la découverte d'un individu à cette période, une colonie doit être présente à proximité du parc.

4.3.4.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

Seule la période de mise-bas et d'élevage des jeunes est concernée par un cas de mortalité, ce qui ne permet pas de dégager une tendance à l'échelle du parc sur la période de suivi.

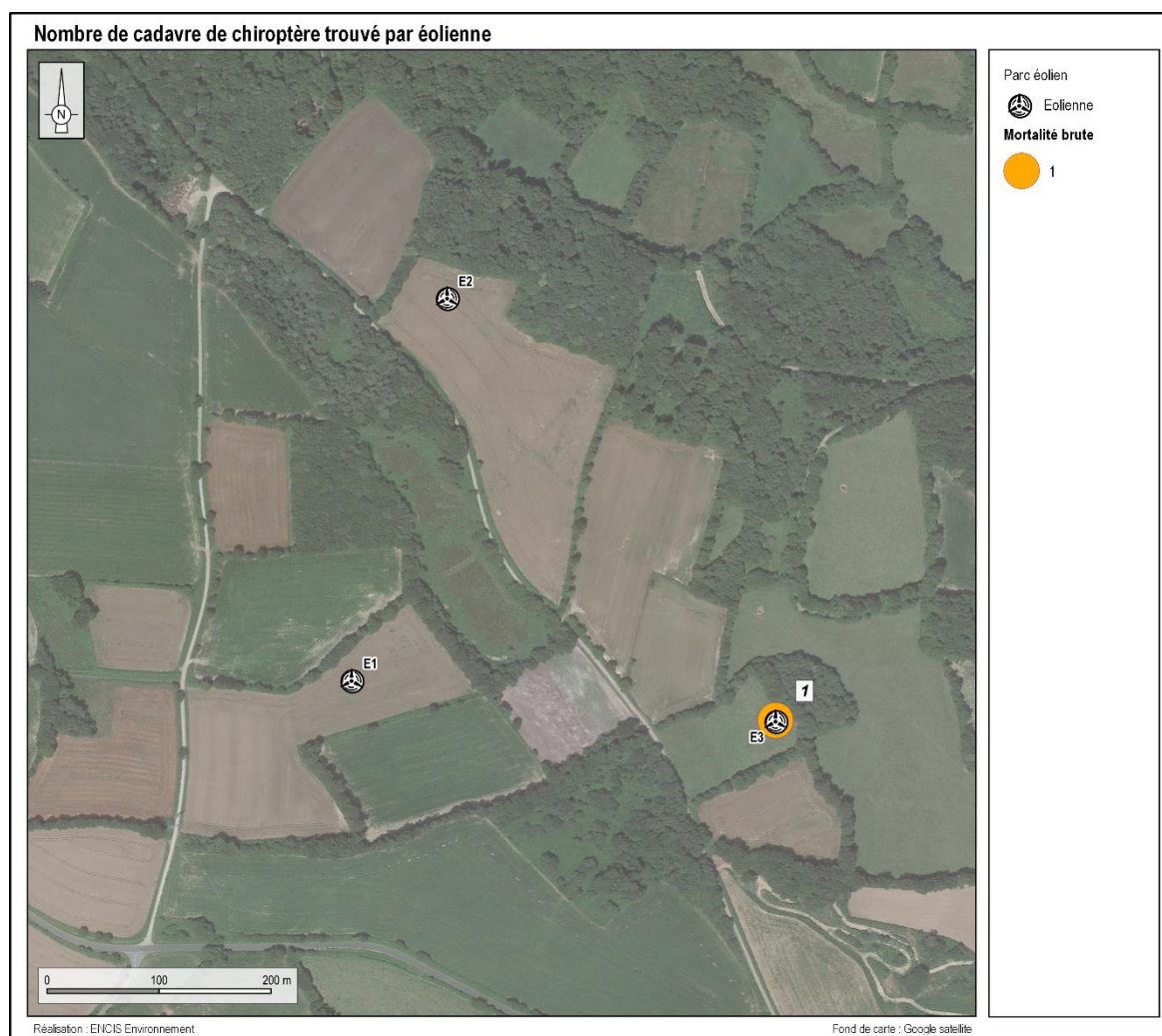
4.3.5 Résultats spatialisés par éolienne

4.3.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, la Pipistrelle commune a été retrouvée sous l'éolienne E3 (carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que, notamment, la prédation, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.

L'éolienne E3 est située dans un champ encerclé de haies et le mât est placé à une dizaine de mètres d'un bosquet. Au moins un quart de la zone de survol des pales comprend une zone boisée ou des haies. La Pipistrelle commune évolue le long de linéaires arbustifs ou arborés, la rendant dans ce cas-ci particulièrement vulnérable au risque de collision. Ses caractéristiques biologique et morphologique rendent également l'espèce sujette aux collisions ou au risque de barotraumatisme comme expliqué précédemment (cf. 1.5.2. Les caractéristiques morphologiques et biologiques des chauves-souris).

De plus, plusieurs habitations sont localisées à moins d'un kilomètre de cette éolienne, une colonie est certainement présente dans ce rayon. Le territoire de chasse de cette espèce se situe en moyenne entre un et deux kilomètres (Arthur & Lemaire 2021).



Carte 6 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne

4.3.5.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

Seule l'éolienne E3 est concernée par un cas de mortalité, ce qui ne permet pas de dégager une tendance à l'échelle du parc sur la période de suivi.

4.3.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien

Il existe de nombreux facteurs pouvant engendrer ou accroître les risques de collision des chiroptères avec les turbines. Ceux-ci peuvent être liés à :

- l'espèce (sensibilité),
- la période (comportements à risque, abondance des individus, etc.),
- la localisation du parc et son agencement (présence de boisements, de haies, etc.),
- la météorologie (température, vent, etc.).

L'origine d'une collision est le plus souvent liée à un recoupement de plusieurs de ces facteurs. Il convient ainsi, lorsque cela est possible, de les identifier afin de déterminer les causes principales de la mortalité sur le parc éolien, et si cela est justifié, d'appliquer d'éventuelles mesures correctrices.

D'après les caractéristiques de l'individu retrouvé, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, plusieurs causes récurrentes peuvent être à l'origine de la mortalité sur le parc de Bourbriac :

4.3.6.1.1 Causes saisonnières

La Pipistrelle commune était très probablement en phase de mise-bas et d'élevage des jeunes. Une colonie doit être présente à proximité du parc. Cette période estivale étant couverte par la mesure préventive spécifiée dans l'arrêté préfectoral, une collision accidentelle semble probable.

4.3.6.1.2 Causes spatiales

La proximité immédiate de l'éolienne avec des haies et un bosquet, dans un environnement semi-ouvert, rendent le risque de collision très élevé par son attractivité comme zone de chasse pour cette espèce.

Des habitations se trouvent dans un périmètre d'un kilomètre autour de l'éolienne E3, ayant impacté l'individu.

Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à :

- Présence d'une colonie dans des habitations à proximité du parc en période de mise-bas et d'élevage des jeunes.***
- Proximité immédiate de l'éolienne avec des haies et un bosquet, dans un environnement semi-ouvert (attractivité comme zone de chasse).***

4.3.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères

4.3.7.1 Patrimonialité et risque pour les populations d'espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation de l'espèce ayant été directement impactée par le parc de Bourbriac, ainsi que sa sensibilité et sa vulnérabilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Espèce	Directive Habitats	Statut de conservation UICN France	Statut ZNIEFF	Statut régional	Vulnérabilité à l'éolien	Nb d'individus retrouvés
Pipistrelle commune	Annexe IV	NT	/	LC	3,5	1
LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / : Éléments de patrimonialité						

Tableau 18 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

Au regard des statuts de conservation correspondant à la phase du cycle biologique de l'individu découvert et de la vulnérabilité face à l'éolien, la Pipistrelle commune est à considérer avec vigilance sur le parc de Bourbriac.

La **Pipistrelle commune** est l'espèce la plus commune d'Europe, elle est présente sur tout le continent. Il s'agit d'une espèce sédentaire qui fréquente de nombreux habitats. Elle est très commune dans les agglomérations et est vue régulièrement en train de chasser au-dessus des points d'eau, sur les prairies humides, autour des lampadaires, le long des haies, dans les jardins, en forêt, etc. C'est une espèce anthropophile et ubiquiste. Les colonies s'établissent dans des endroits exigus (sous la toiture, derrière les volets). Les déplacements de la Pipistrelle commune entre sites d'été et d'hiver sont faibles, ils n'excèdent pas 10 kilomètres. Les femelles chassent à moins de deux kilomètres du gîte. La mise-bas a lieu de mi-juin à début juillet et l'hibernation de mi-novembre à mars. La saison des accouplements a lieu entre fin août et fin septembre. La Pipistrelle commune peut chasser près des zones éclairées, à proximité des structures paysagères et effectue parfois des vols de plus de 40 m de hauteur ce qui la rend très vulnérable aux éoliennes. En effet, elle comporte une note de risque de 3,5.

La Pipistrelle commune présente un état de conservation défavorable à l'échelle nationale (NT) et elle est sujette à un risque (3,5) élevée pour les populations face aux impacts de collision.

4.3.7.2 Corrélation avec le suivi comportemental

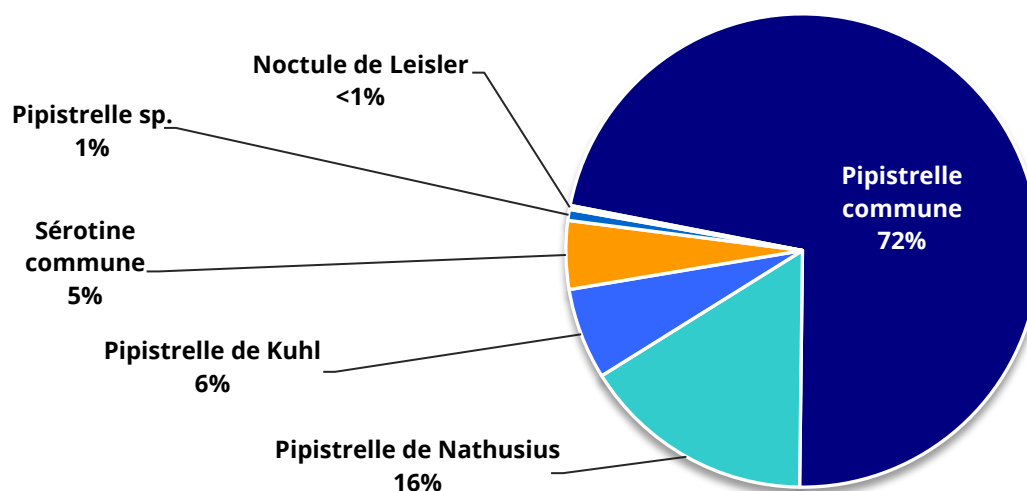


Figure 6 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

Il est intéressant de noter que l'activité chiroptérologique recensée sur le parc est essentiellement due à celle de la Pipistrelle commune (72 % des contacts). Les autres espèces principalement contactées sont la Pipistrelle de Nathusius (16 % des contacts), la Pipistrelle de Kuhl (6 %) et la Sérotine commune (5 %). Le seul cadavre découvert sur le parc en 2022 était une Pipistrelle commune, espèce largement majoritaire lors des écoutes en nacelle. Néanmoins, en raison de la faiblesse de l'échantillon de cadavres retrouvés, il apparaît difficile de mettre en exergue une véritable corrélation entre l'activité relevée par les enregistrements et la mortalité avérée.

En effet la programmation préventive des machines appliquée en 2022 a couvert 69,7 % de l'activité. Cette programmation n'a ainsi pas couvert l'activité des chauves-souris volant à des vitesses de vent supérieur à 5,5 m/s, notamment au mois de juin.

On notera que la période où l'unique cas de mortalité est apparu coïncide avec les nuits où l'activité recensée était maximale sur la période de suivi. D'ailleurs, cette activité concerne essentiellement la Pipistrelle commune.

La mortalité chiroptérologique estimée sur le parc de Bourbriac a été considérée comme faible, en comparaison d'autres parcs éoliens français. Les premières conclusions du suivi comportemental à hauteur de nacelle montrent une activité chiroptérologique modérée sur le site.

Sur le site de Bourbriac, l'activité chiroptérologique est jugée modérée (cf.3.2.1). Par conséquent, elle n'est pas directement corrélée avec une mortalité estimée faible. En effet, l'activité étant modérée, une mortalité estimée modérée pourrait être attendue, ce qui n'est pour autant pas le cas ici.

4.3.7.3 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux élevés, ciblées lors de l'étude d'impact réalisée en 2017 (complétée en 2018) par le bureau d'étude AEPE Gingko, la Pipistrelle commune a été recensée lors de ce suivi.

La **Pipistrelle commune**, classée « Quasi-menacée » en période de reproduction à l'échelle nationale et présentant des indices de sensibilité et de vulnérabilité élevés face au risque de collision, a fait l'objet d'un cas de mortalité recensé sur le parc en 2022. Sans récurrence de la mortalité observée chez cette espèce, l'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de pouvoir éventuellement en limiter les causes.

Parmi les espèces à enjeux et à risques élevés, ciblées lors de l'étude d'impact, la Pipistrelle commune a été recensée durant de ce suivi.

Compte tenu de la mortalité observée et de l'effectif concerné, le parc de Bourbriac ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce particulière. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité sur la Pipistrelle commune durant les prochaines années de suivi.

4.3.8 Synthèse

- **La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (mi-avril à fin octobre 2022) est d'un individu, plus précisément une Pipistrelle commune.**
- **La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir interpréter les résultats de la mortalité estimée (intervalles de confiance). Ces résultats ne remettent pas en question le protocole utilisé, le nombre de passage notamment, au regard des bons résultats obtenus lors des tests de détection (89 %) et de persistance (4,28 jours).**
- **Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à :**
 - **Présence d'une colonie dans des habitations à proximité du parc en période de mise-bas et d'élevage des jeunes.**
 - **Proximité immédiate de l'éolienne avec des haies et un bosquet, dans un environnement semi-ouvert (attractivité comme zone de chasse).**
- **Cette espèce était ciblée lors de l'étude d'impact comme étant à enjeu et à risque élevé. Le parc de Bourbriac ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce particulière et ne nécessite pas de la mise en place de mesures complémentaires. Il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité sur la Pipistrelle commune durant les prochaines années de suivi.**



5 Mesures correctrices

5.1.1.1.1 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence sur les chiroptères

Le parc n'ayant pas d'incidence significative aux vues des résultats de la première année de suivi 2022, aucune mesure spécifique n'est proposée.

Le maintien du bridage en place reste nécessaire.

5.1.1.1.2 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence avifaune

Le parc n'ayant pas d'incidence significative aux vues des résultats 2018, aucune mesure spécifique n'est proposée.

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001).....	15
Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas et al. 2020).....	18
Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004).....	20
Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al. 2017).....	22
Certaines espèces de chiroptères ont des caractéristiques morphologiques et des spécificités écologiques qui semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell et al. (2010) ont ainsi démontré les similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces dites glaneuses ou de poursuites de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell et al. (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques. Les espèces de haut vol, de grande taille (rythme d'émission lent impliquant un défaut d'appréciation de la rotation des pales), les espèces au vol peu manœuvrable, ainsi que les espèces chassant les insectes à proximité des sources lumineuses (balisage nocturne des éoliennes), sont donc les plus sujettes aux collisions.	
Figure 5 : Représentation schématique des comportements.....	23
Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al. 2017)	26
Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al. 2015)	27
Figure 8 : Nombre de cas de mortalité de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020).....	29
Figure 9 : Contours isolignes des déclinés de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population (λ) (Frick et al. 2017) ...	31
Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.).....	39
Figure 11 : Indices de confiance établis par SonoChiro® et risques d'erreurs associés.....	40
Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne.....	46
Figure 13 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude.....	62
Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire	65
Figure 15 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien.....	66
Figure 16 : Activité des chiroptères en fonction de la température	67
Figure 17 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent	69
Figure 18 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent.....	70
Figure 19 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)	81
Figure 20 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022)	83

Figure 21 : Espèces patrimoniales, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Gingko) ..	84
Figure 22 : Espèces non patrimoniales et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Gingko).....	85
Figure 23 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe 'espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2022)	96
Figure 24 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2018 (AEPE Gingko)	97

Tableaux

Tableau 1 : Valeurs seuils des échelles d'activité globale en fonction des différents protocoles	41
Tableau 2 : Valeurs seuils des échelles de diversité spécifique en fonction des différents protocoles	41
Tableau 3 : Habitat et type de milieu inventorié	41
Tableau 4 : Paramètres des tests d'efficacité effectués sur l'année de suivi	48
Tableau 5 : Postulats de chaque méthode d'estimation.....	52
Tableau 6 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel	53
Tableau 7 : Synthèse des enjeux sur les chiroptères de l'étude d'impact de AEPE Gingko (2017)	60
Tableau 8 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne.....	61
Tableau 9 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques	62
Tableau 10 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires	64
Tableau 11 : Résultats des tests d'efficacité	77
Tableau 12 : Résultats des tests de persistance.....	77
Tableau 13 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés	79
Tableau 14 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE)	80
Tableau 15 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	86
Tableau 16 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	89
Tableau 17 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	98
Tableau 18 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	102

Cartes

Carte 1 : Localisation du parc éolien de Bourbriac.....	9
Carte 2 : Localisation du parc éolien de Bourbriac sur photographie aérienne	10
Carte 3 : Localisation et dénomination des dispositifs Batmode S.....	42
Carte 4 : Localisation et dénomination des dispositifs Batmode S.....	43
Carte 5 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne	87
Carte 6 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne	100

Photographie

Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales. 17

Bibliographie

- Actes du séminaire citoyen Lucéole (2012). Coexistence Milan royal et parc éolien – pour une compréhension ouverte d'un problème complexe.
- Albouy, S., Dubois, Y. & Picq, H. 2001. Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue-Haute (Aude). Rapport final, octobre 2001. ABIES/LPO Aude/ADEME, Gardouch – Gruissan. 56 p + annexes.
- Alcalde, J.T. (2003): Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella* 2: 3-6.
- Ahlén, I. (1997): Migratory behaviour of bats at south Swedish coasts. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62: 375-380.
- Ahlén, I. (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. *Fauna och Flora* 97 (3): 14-22.
- Alhen I Bach L. Baagoe H.J. & Pettersson J. 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. The Swedish Environmental Protection Agency, Report 5571.
- Amorim F. Rebelo H. Rodrigues L. 2012. Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439-457.
- André, Y. (2005): Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO, Rochefort, 21 pages.
- Arnett, E.B., technical editor (2005): Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: an Assessment of Fatality Search Protocols, Pattern of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 187 pp.
- Arnett E.B. Barclay R.M.R & Hein C.D. 2013a. Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171 & 2013a.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Reynolds D.S. & Schirmacher M. 2007. Patterns of preconstruction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 35 p.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, J.P. Hayes & M. Schirmacher (2010): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Schirmacher M. & Hayes J.P. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Front Ecol. Environ.* 2011, 9(4): 209– 214.
- Arnett, E.B., G.D. Johnson, W.P. Erickson & C.D. Hein (2013c): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Arnett, E.B., C.D. Hein, M.R. Schirmacher, M.M.P. Huso & J.M. Szewczak (2013b): Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. *PLoS ONE* 8(6): e65794.

- Arnett E.B. Brown W.K. Erickson W.P. Fiedler J. Hamilton B.L. Henry T.H. Jain A. Johnson G.D. Kerns J. Koford R.R. Nicholson C.P. O'Connell T. Piorkowski M. & Takersley R. 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72: in press.
- Arnett, E.B., Baerwald, E.F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodriguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. (2016) Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) pp. 295–323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Arthur L. & Lemaire M. 2015. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- Arthur L. & Lemaire M. 2021. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Troisième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 592 p.
- Aulagnier S. 2005. France. in : R. Hutterer, T. Ivanova, C. Meyer-Cords & L. Rodrigues : Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Natursch. Biol. Vielf.*, 28 : 41-43.
- AVES environnement & GCP. 2010. Etude de la mortalité des Chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 17/03-27/11 2009. 38 p.
- Bach, L. (2002): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum - Endbericht. – unpubl. report for Instituts für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe: 46 pp.
- Bach L. & Niermann I. 2011 & 2013. Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Langwedel – Bericht 2012 – Überprüfung des Abschalt algorithmus. Unpubl.report to PNE Wind AG, 28 pages.
- Bach, P., L. Bach, K. Eckschmitt, K. Frey & U. Gerhardt (2013b): Bat fatalities at different wind facilities in northwest Germany. Poster at CWE2013, Stockholm, 5-7 February 2013 (Naturvardsverket rapport 6546:117) and 3rd International Bat Meeting, Berlin, 1-3 March 2013.
- Baerwald E.F. Barclay R.M.R. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E.F., G.H. D'Amours, B.J. Klug & R.M.R. Barclay (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18 (16): pR 695696.
- Barataud M. & Giosa S. 2012. Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousin : rapport. Groupe Mamm. Herpéto. Limousin, Limoges, 32 p.
- Barclay R.M.R. 1991. Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. *Journal of Animal Ecology* 60 (1): 165-178.
- Barclay RMR, Baerwald EF, Gruver JC (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities : assessing the effects of rotor size and tower height.
- Barre, K., L., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R. & Kerbiriou, C. (2018) Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 226, 205–214.
- Barrios L *et al.* (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines.
- Bas, Y., A. Haquart, J. Tranchard & H. Lagrange (2014): Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure: évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. *Symbioses, Actes des 14èmes Rencontres Nationales Chauves-souris de la SFEPM*, Bourges mars 2012, 32: 83-87.

- Bastos, R., M. Santos & J.A. Cabral (2013): A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34: 428–440.
- Bauer K. 1960. Die Säugetiere des Neusiedlersee-Gebietes (Österreich), Bonn. Zool. Beitr. 11(2-4): 141-344.
- Behr, O. & O. von Helversen (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark "Roßkopf" (Freiburg i. Br.). - Unpubl. report: 37 pp + maps.
- Behr, O. & O. von Helversen (2006): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahre 2005. Unpubl. report for 2005 on behalf of Regiowind GmbH & Co. KG Freiburg, 32 pages + maps.
- Behr O., Brinkmann R., Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011. Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & M. Reich, (Hrsg.): Entwicklung
- Bernardino J., R. Bispo, H. Costa & M. Mascarenhas (2013): Estimating bird and bat fatalities at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* 40 (1): 63-74.
- Bernardino, J., R. Bispo, R. Rebelo, M. Mascarenhas & H. Costa (2011): Enhancing carcass removal trials at three wind energy facilities in Portugal. *Wildl. Biol. Pract.* 7(2): 1-14.
- Beucher, Y., V. Kelm, F. Albespy, M. Geyelin, L. Nazon & D. Pick (2013): Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12): Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2001), 111 pages
- Bispo, R., G. Palminha, J. Bernardino, T. Marques, & D. Pestana (2010): A new statistical method and a web-based application for the evaluation of the scavenging removal correction factor. *Proceedings of the VIII Wind Wildlife Research Meeting, Denver, USA.*
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weisshahn & F. Bontadina (2006): Survey of possible operational impacts on bats by wind facilities in Southern Germany. Final report submitted by the Administrative District of Freiburg, Department of Conservation and Landscape management and supported by the foundation Naturschutzfonds
- Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (ed.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4, 457 pages
- Camina, A. (2012): Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. *Acta Chiropterologica* 14(1): 205-212
- Collins J. & Jones G. 2009. Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterol.*, 11(2): 343-350.
- Cornelis N, Strehler-Perrin C, Balsiger L et al. (2016). Evaluation des impacts résiduels cumulés des éoliennes du Jura vaudois et des régions limitrophes sur la faune ailée.
- Cornut, J. & S. Vincent (2010a): Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. GCRA & LPO Drôme, 42 pages

- Cornut, J. & S. Vincent (2010b): Suivi de la mortalité de chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. Le Bièvre 24: 51-57. Disponible sur : <http://coraregion.free.fr/images/bievre/bievre24.pdf>
- Cryan P.M. Gorrens P.M. Hein C.D. Schirmacher M.R. Diehl R.H. Huso M.M. Hayman D.T.S. Fricker P.D. Bonaccorso F.J. Johnson D.H. Hesit. H. & Dalton D.C. 2014. Behavior of bats at wind turbines. PNAS. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- De Lucas M *et al.*, (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance.
- Dechmann, D.K.N., Wikelski, M., Ellis-Soto, D., Safi, K. & O'Mara, M.T. (2017) Determinants of spring migration departure decision in a bat. *Biology letters*, 13, 20170395.
- DGPR, DGALN, MTES, MNHN, LPO, SFEPM, SER, FEE. Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, révision 2018.
- Dietz C. Von Helvesen O. & Nill D. 2009. L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : Biologie, caractéristiques, protection. Delachaux et Niestlé, Paris, France. 400 p.
- Drewitt AL *et al.* (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. (p14).
- Dubourg-Savage M.-J., Bach L. & Rodrigues L., 2009, Bat mortality in wind farms in Europe. 1st International Symposium on Bat Migration, Berlin, pp.16-18
- Dubourg-Savage, M.J., L. Rodrigues, H. Santos, P. Georgiakakis, E. Papadatou, L. Bach & J. Rydell (2011): Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe: comparing north and south. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, NINA Report 693. Proceedings, poster abstract: 124
- Dulac, P. (2008): Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée/ADEME Pays de la Loire/Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon, Nantes, 106 pages
- Dürr, T. (2001): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen. – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 10: 182.
- Dürr, T. 2007. Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2-3): 238-252
- Dürr, T. & L. Bach (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen - Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7*: 253-264
- Ecosphère, (2016). Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions » (Écosphère, 2016, complété en 2017).
- Ecosphere, Roue S, Thauront M, Jung, 2013. Suivis de mortalité : Protocoles, abaques, optimisation des fréquences de passage et collecte nationale de données.
- Endl, P., U. Engelhart, K. Seiche, S. Teufert & H. Trapp (2005): Untersuchungen zum Verhalten von Fledermäusen und Vögeln an ausgewählten Windkraftanlagen im Landkreis Bautzen, Kamenz, Löbau-Zittau, Niederschlesischer Oberlausitzkreis, Stadt Görlitz Freistaat Sachsen. Unpubl. report for Staatliches Umweltfachamt Bautzen: 135 pp.
- Erickson, W. P. *et al.* 2004. Stateline wind project wildlife monitoring final report, July 2001 — December 2003. — Tech. Rep. peer-reviewed by and submitted to FPL Energy, the Oregon Energy Facility Siting Council, and the Stateline Technical Advisory Committee.

- Erickson et al. 2011. Avian and bat mortality associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon: 1999 study year. WEST, Inc. for Umatilla County Department of Resource Services and Development, Pendleton, Oregon. 21 p.
- Erickson WP, Johnson GD, Strickland DM, Young DP Jr., Sernka KJ, Good RE (2001). Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States.
- Erickson WP, Johnson GD, Young DP Jr. (2005). A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions.
- Erkert H.G. 1982. Ecological aspects of bat activity rhythms, p. 201-242. In: T.H. Kunz (Ed.). Ecology of bats. New York, Plenum Press, XVIII+425p.
- Fielding AH et al. (2006). Spatial association as an indicator of the potential for future interactions between wind energy developments and golden eagles *Aquila chrysaetos* in Scotland.
- Frick, W.F., Baerwald, E.F., Pollock, J.F., Barclay, R.M.R., Szymanski, J.A., Weller, T.J., Russell, A.L., Loeb, S.C., Medellin, R.A. & McGuire, L.P. (2017) Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological Conservation*, 209, 172–177.
- Fure, A. (2006): Bats and lighting. *The London Naturalist* 85: 1-20.
- Garcia DA, Canavero G, Ardenghi F, Zambon M (2015). Analysis of wind farm effects on the surrounding environment : Assessing population trends of breeding passerines.
- Gaultier, S.P., Marx, G., & Roux, D., (2019). Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p. https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf
- Gelman, A. and Pardoe, I. 2006. Bayesian measures of explained variance and pooling in multilevel (hierarchical) models. — *Technometrics* 48: 241–251.
- Georgiakakis, P. Kret E. Cárcamo B. Doutau B. Kafkaletou-Diez A. Vasilakis D. & Papadatou E. 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. *Acta Chiropterologica* 14 (2): 459-468.
- Gerell-Lundberg K. & Gerell R. 1994. The mating behaviour of the pipistrelle and the Nathusius' pipistrelle (Chiroptera) - A comparison. *Folia Zoologica* 43 (4): 315-324.
- Grindal, S.D. & R.M. Brigham (1998): Short-term effects of small-scale habitat disturbance on activity by insectivorous bats. *J. Wildl. Manage* 62 (3): 996–1003.
- Grodsky, S.M., M.J. Behr, A. Gendler, D. Drake, B.D. Dieterle, R.J. Rudd & N.L. Walrath (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 92(5): 917–925.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016. – Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, B. Stahl, D. Dörte & G. Nehls (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergie-anlagen. Unpubl. report for Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein: 92 pp.
- Grünkorn T, von Rönn J, Blew J, Nehls G, Weitekamp S, Timmermann H, Reichenbach M, Coppack T (2016). Détermination des taux de collision des oiseaux (y compris rapaces) et principes fondamentaux

pour prévoir et évaluer le risque de collision dans la conception des projets éoliens (projet de recherche PROGRESS). (p27).

- Hayes, M.A. (2013): Bats Killed in Large Numbers at United States Wind Energy Facilities. *BioScience* 63(12): 975-979.
- Hayes, M. A., L. A. Hooton, K. L. Gilland, C. Grandgent, R. L. Smith, S. R. Lindsay, J. D. Collins, S. M. Schumacher, P. A. Rabie, J. C. Gruver, and J. Goodrich-Mahoney. (2019) A smart curtailment approach for reducing bat fatalities and curtailment time at wind energy facilities. *Ecological Applications* 00(00):e01881.
- Hedenström A. 2009. Optimal migration strategies in bats. *Journal of Mammalogy*, 90(6):1298–1309, 2009
- Heim, O., Schröder, A., Eccard, J., Jung, K. & Voigt, C.C. (2016) Seasonal activity patterns of European bats above intensively used farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 130–139.
- Hensen, von F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus (N.F.)* 9 (5): 427-435.
- Hodos W (2003). Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. (p43).
- Horn J.W. Arnett E.B. & Kunz T.H. 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1): 123-132
- Holzhaider J. & Zahn A. 2001. Bats in the Bavarian Alps : species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Z. Säugetierk.*, 66(2) : 144-154.
- Hötter H, Thomsen KM, Jeromin H (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats. (p65).
- Hull C.L. & Cawthen L. 2013. Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zealand Journal of Zoology* 40(1): 5–15.
- Huso, M.M.P. (2010): An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*: doi: 10.1002/env.
- Huso, M. *et al.* 2012. Fatality estimator users guide. — US Geological Survey Data Series 729.
- Hutterer R. Ivanova T. Meyer-Cords C. & Rodrigues L. 2005. Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Natursch. Biol. Vielf.*, 28 : 3-162 + app.
- Jain, A. *et al.* 2007. Annual report for the Maple Ridge wind power project: post-construction bird and bat fatality study 2006. Final report. — L. Curry & Kerlinger. Syracuse, NY, Curry & Kerlinger, LLC: 53.
- Johnson G.D. Erickson W.P. Strickland M.D. Shepherd M.F. & Shepherd D.A. 2003. Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. – *Am. Midl. Nat.* 150: 332-342.
- Jones *et al.* (2009). Altamont Pass Wind Resource Area 48-Hour Search Interval Bird Fatality Study. (p22).
- Kaňuch P. and Krištín A. 2007. Factors influencing bat assemblages in forest parks. *Ekológia (Bratislava)* 24:45–56.
- Kapfer G. & Aron S. 2007. Temporal variation in flight activity, foraging activity and social interactions by bats around a suburban pond. *Lutra*, 50(1) : 9-18.
- Kerns J. Erickson W.P. & Arnett E.B. 2005. Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia in Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines, Pour Bat and Wind Energy Cooperative. E.B Arnett, ed. pp. 24-95.

- Körner-Nievergelt, F., Brinkmann R., I. Niermann & O. Behr (2013): Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLoS ONE* 8 (7): e67997. doi: 10.1371/journal.pone.0067997
- Korner-Nievergelt, F., P. Korner-Nievergelt, O. Behr, I. Niermann, R. Brinkmann & B. Hellriegel (2011): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildl. Biology* 17 (4): 350-363
- Kronwitter F. 1988. Population structure, habitat use and activity patterns of the Noctule bat, *Nyctalus noctula* Schreb., 1774 (Chiroptera: Vespertilionidae) revealed by radio-tracking. *Myotis*, 26: 23 -85.
- Krijgsveld KL et al. (2009). Collision risk of birds with modern large wind turbines. (p10).
- Krüger T, Garthe S (2001). Flight altitudes of coastal birds in relation to wind direction and speed. (p14).
- Kunz, T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., R.W. Thresher & M.D. Tuttle (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs and hypotheses. *Frontiers in Ecology* 5: 315–324.
- Lagrange, H., E. Roussel, A.-L. Ughetto, F. Melki, G. Steinmetz & C. Kerbirou (2011): Chirotech, A Multi-Factorial Mitigation process to reduce Bat fatalities at wind energy facilities. In: Hutson A.M., P.H.C. Lina (eds.): XII European Bat Research Symposium - Programme, abstract, list of participants: 33.
- Lagrange, H., P. Rico, Y. Bas, A.-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou (2013): Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of CHIROTECH®. Presentation at the CWE in Stockholm 5-7 February 2013 and at the 16th International Bat Research Conference, Costa Rica.
- Le Campion T. & Dubos T. 2017. Etude la migration des chauves-souris en Bretagne 2013-2016 : rapport final mai 2017. G.M.B., 52 p.
- Lebreton, J.-D. et al. 1992. Modelling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. — *Ecol. Monogr.* 62: 67–118.
- Lehnert, L.S., Kramer-Schadt, S., Schönborn, S., Lindecke, O., Niermann, I. & Voigt, C.C. (2014) Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. *PLoS ONE*, 9, e103106.
- Limpens H.J.G.A. Boonman, M. Korner-Nievergelt F. Jansen E.A. Van der Valk M. La Haye M.J.J. Dirksen S. & Vreugdenhil S.J. 2013. Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdierverseniging & Bureau Waardenburg.
- Long, C. V., J.A. Flint & P.A. Lepper (2011): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research* 57 (2), 323-331.
- Loss SR, Will T, Marra PP (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. (p9).
- Madders M, Whitfield DP (2006). Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. (p14).
- Martin, C.M., Arnett, E.B., Stevens, R.D. & Wallace, M.C. (2017) Reducing bat fatalities at wind facilities while improving the economic efficiency of operational mitigation. *Journal of Mammalogy*, 98, 378–385.
- Marx G., (2017). Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015. Juin 2017, actualisé en septembre 2017, 92 p.
- McAney C.M. & Fairley J.S. 1990. Observations at summer roosts of the lesser horseshoe bat in Co. Clare. *Ir. Nat. J.* 23(1).

- MRNF. 2008. Protocole de suivi des mortalités d'oiseaux de proie et de chiroptères dans le cadre de projets d'implantation d'éoliennes au Québec – 8 janvier 2008. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec. 18 pages.
- Natural England (2007): Disturbance and protected species: understanding and applying the law in England and Wales. Natural England, 24/8/07, 30 pages. Available: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140605090108/http://www.naturalengland.org.uk/Images/esisgd_tcm6-3774.pdf
- Niermann, I., O. Behr & R. Brinkmann (2007): Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergiestandorten. *Nyctalus* (N.F.) 12 (2-3): 152-162.
- Niermann I. Brinkmann R. Korner-Nievergelt F. Behr O. 2011. Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4: 40-115
- Norberg U.M. Rayner J.M.V. 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 316: 335-427.
- Parsons S. & Jones G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *J. exp. Biol.* 203: 2641±2656.
- Parsons, K.N., G. Jones, I. Davidson-Watts & F. Greenaway (2003): Swarming of bats at underground sites in Britain - implications for conservation. *Biol. Conservation* 111 (1): 63-70.
- Péron, G., J.E. Hines, J.D. Nichols, W.L. Kendall, K.A. Peters & D.S. Mizrahi (2013) Estimation of bird and bat mortality at wind-power farms with superpopulation models. *Journal of Applied Ecology* 50(4): 902-911.
- Pollock, R. 2007. Recommended formulas for adjusting fatality rates. California guidelines for reducing impacts to birds and bats from wind energy development. Final commission report. C. E. C. a. C. D. o. F. a. Game. — California Energy Commission, Renewables Committee, and Energy Facilities Siting Divisions, and California Dept of Fish and Game, Resources Management and Policy Division, pp. 117-118.
- Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015.
- Rachwald A. 1992. Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Bialowieza Primeval Forest. *Acta Theriol.* 37, 413-422.
- Redell D. Arnett E.B. Hayes J.P. & Huso M. 2006. Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 52 p.
- Rico, P. & H. Lagrange (2011): Chirotech, Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Ma de Leuze (commune de Saint-Martin-de-Crau, 13) 2011. Rapport Biotope, contrat n°8 pour l'ADEME, 51 pages.
- Rodrigues L. Bach L. Dubourg-Savage M.-J. Goodwin J. & Harbush C. 2008. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. EUROBATS Publication Series No. 3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany

- Rodrigues, L. Bach, M-J. Dubourg-Savage, B.Karapandza, D.Kovac, T.Kervyn, J.Dekker, A.Kepel, P.Bach, J.Collins, C.Harbusch,K.Park, B.Micevski, J.Minderman (2015) Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens – Actualisation 2015. EUROBATS Publication Serie N° 6 (Version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.
- Rollins, K.E., D. K. Meyerholz, G.D. Johnson, A.P. Capparella & S.S. Loew (2012): A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? *Veterinary Pathology* 49 (2): 362-371
- Russ J.M. 1999a. The bats of Britain and Ireland. Echolocation calls, sound analysis and species identification. Newtown: Alana Books. 102
- Russ J.M. 1999b. The Microchiroptera of Northern Ireland: community composition, habitat associations and ultrasound. Unpubl. PhD thesis, The Queen's University of Belfast
- Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010a. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2): 261-274
- Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010b. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur. J. Wildl. Res.*, 56(6) : 823-827.
- Sané, F. (2012): Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : Bilan de 3 années de suivi (2008-2009-2010). ALEPE, unpublished report for EDF EN, 111 pages.
- Sattler T. & Bontadina F. 2005. Bases pour l'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliennes en France sur la base de la diversité et l'activité des chauvessouris. – Compte-rendu succinct, SWILD, Zürich par ordre de Megawatt Eole, Stuttgart, 23p.
- Schaub, A., J. Ostwald & B.M. Siemers (2008): Foraging bats avoid noise. *The Journal of Experimental Biology* 211 : 3174-3180.
- Seiche K. Endl P. & Lein M. 2007. Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen – Ergebnisse einer landesweiten Studie. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2-3): 170-181.
- Silva R. 2009. Effet des conditions météorologiques sur l'activité de chasse des Chiroptères. M.N.H.N., C.R.B.P.O., 36p.
- Smallwood, K. 2007. Estimating wind turbine – Caused bird mortality. — *Journal of wildlife management* 71(8) : 2781-2791.
- Stone, E.L., G. Jones & S. Harris (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology* 19(13): 1123-1127. Doi:10.1016/j.cub.2009.05.058.
- Swift S.M. 1980. Activity patterns of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in north-east Scotland. *Journal of Zoology, London*, 190, 285-295.
- Therkildsen OR, Elmeros M (2015). First year post-construction monitoring of bats and birds at wind turbine test Centre Østerild. (p128).
- Thonnerieux Y - Natur'ailes (2005). Eoliennes et Oiseaux : quelles conséquences?. (p6).
- Voigt, Ch.C., A.G. Popa-Lisseanu, I. Niermann & S. Kramer-Schadt (2012): The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. *Biological Conservation* 153: 80-86
- Warren-Hicks, W., J. Newman, R. Wolpert, B. Karas & L. Tran (2013): Improving methods for estimating fatality of birds and bats at wind energy facilities. Public Interest Energy Research (PIER) Program. Final Project Report. California Energy Commission. February 2013.

- Whitaker J.O.Jr. 1998. Life history and roost switching in six summer colonies of eastern pipistrelles in buildings. *Journal of Mammalogy* 79 (2): 651-659.
- Young Jr DP, Erickson WP, Strickland MD, Good RE, Sernka KJ (2003). Comparison of avian responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines. (p67).

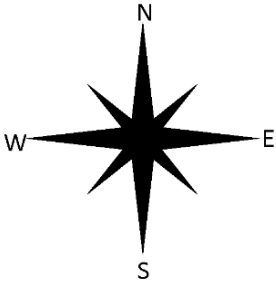
Annexes

Annexe 1 : Fiche de données remplie à chaque sortie mortalité

Site : Observateur :

Date (2022)	Heure		T°C		Couverture nuageuse (%)	Pluie (absente, brûine, averses)	Vent (absent, faible, moyen à fort)	Surface prospectée (approx.)	Cadavre (n° + espèce)
	Début	Fin	Début	Fin					
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	
								A4 =	
								A3 =	
								A1 =	
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	
								A4 =	
								A3 =	
								A1 =	
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	
								A4 =	
								A3 =	
								A1 =	
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	
								A4 =	
								A3 =	
								A1 =	
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	
								A4 =	
								A3 =	
								A1 =	
								A1 =	
								A3 =	
								A4 =	

Annexe 2 : Présentation de la fiche de saisie standardisée de la mortalité

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX			
Nom du parc éolien :			
Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
<p>Localisation :</p> <p>Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte</p> <p>Latitude :</p> <p>Longitude :</p> <p>Numéro de l'éolienne la plus proche :</p> <p>Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) :</p> <p>Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche :</p> <p>Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) :</p>			
			
N° de photos :			
<p>Description et identification :</p> <p>Taille de l'oiseau (ailes déployées) :</p> <p>Particularités (couleur, forme quelconque) :</p> <p>Identification (famille, espèce si possible) :</p>			
<p>Etat de l'individu :</p> <p><input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment</p>			
<p>Etat du cadavre :</p> <p><input type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec</p>			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :			
COMMENTAIRES :			

Annexe 3 : Sorties mortalité réalisées en 2022

Chercheurs	Période biologique avifaune (théorique)	Période biologique chiroptère (théorique)	Date	Heure		Température (°C)		CN (%)	Pluie	Vent
				Début	Fin	Début	Fin			
Laëtitia VIBERT	Migration prénuptiale (1er mars - 30 avril)	Transits printaniers (16 mars - 31 mai)	19.04.2022	14:30	15:50	15	15	20	Absente	Modéré
			25.04.2022	13:20	14:55	20	22	10	Absente	Modéré
	02.05.2022		13:10	14:55	11	12	100	Bruine	Faible	
	10.05.2022		14:30	16:40	25	28	0	Absente	Modéré	
	16.05.2022		13:00	14:30	16	18	100	Averses	Soutenu	
	23.05.2022		13:45	15:30	16	15	100	Averses	Modéré	
	Nidification (1er mai - 31 août)	Reproduction, mise-bas et élevage des jeunes (1er juin - 15 août)	30.05.2022	13:00	14:45	20	22	90	Absente	Faible
			06.06.2022	13:00	15:00	16	18	100	Averses	Modéré
			13.06.2022	13:00	15:00	15	17	50	Absente	Faible
			20.06.2022	13:00	15:00	17	18	20	Absente	Très faible
			27.06.2022	12:15	13:30	20	15	100	Averses	Modéré
			04.07.2022	14:15	15:40	16	22	70	Absente	Faible
			11.07.2022	13:20	14:50	26	26	0	Absente	Faible
			18.07.2022	12:10	13:10	33	35	0	Absente	Soutenu
Thomas LEROY			25.07.2022	13:00	14:15	24	24	100	Averses	Faible
Romain FOUQUET			02.08.2022	13:15	14:30	35	35	0	Absente	Soutenu
Laëtitia VIBERT			09.08.2022	13:00	14:35	24	27	0	Absente	Moyen à fort
			Swarming, transits automnaux (16 août - 15 novembre)	16.08.2022	13:30	14:45	21	24	90	Absente
	22.08.2022			13:30	14:35	21	25	100	Bruine	modéré
	29.08.2022			12:45	13:45	23	25	10	Absente	Moyen à fort
	05.09.2022			14:00	15:00	23	24	50	Absente	Fort
	12.09.2022			13:00	14:30	28	28	70	Absente	Moyen à fort
	19.09.2022			14:00	15:00	21	21	10	Absente	faible
26.09.2022	14:45		16:00	15	15	60	averses	Moyen à fort		
	Migration postnuptiale (1er septembre - 30 novembre)									

Chercheurs	Période biologique avifaune (théorique)	Période biologique chiroptère (théorique)	Date	Heure		Température (°C)		CN (%)	Pluie	Vent
				Début	Fin	Début	Fin			
Laëtitia VIBERT	Migration postnuptiale (1er septembre - 30 novembre)	Swarming, transits automnaux (16 août - 15 novembre)	03.10.2022	14:00	15:10	16	17	100	Bruine	Moyen à fort
			11.10.2022	14:00	15:00	17	17	5	Absente	Faible
			18.10.2022	13:30	15:00	16	17	50	Absente	Moyen à fort
			24.10.2022	13:00	14:00	15	15	90	Absente	Moyen à fort

Annexe 4 : Cas de collision avec l'avifaune recensés en France et en Europe au 7 :mai 2021 (d'après Dürr, 2022)

Ordre	France	Europe
Passériformes	791	4 880
Accipitriformes	309	4 871
Falconiformes	243	900
Apodiformes	155	487
Charadriiformes	132	2 866
Columbiformes	120	677
Galliformes	78	609
Ansériformes	14	611
Strigiformes	11	120
Pélécaniiformes	8	160
Suliformes	4	22
Gruiformes	3	98
Coraciiformes	3	14
Ciconiiformes	2	171
Piciformes	2	22
Inconnu	1	7
Cuculiformes	0	16
Bucérotiformes	0	9
Ptérocliformes	0	6
Caprimulgiformes	0	3
Podicipédiformes	0	3
Procellariiformes	0	3
Gaviiformes	0	1
Psittaciformes	0	1

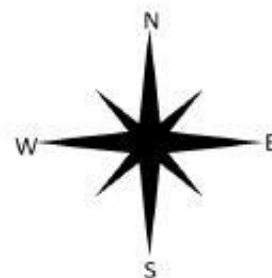
Annexe 5 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en Europe et en France
au 7 mai 2021 (d'après Dürr, 2022)

Espèces	France	Europe
Pipistrelle commune	1 124	2 569
Chiroptère sp.	447	1 105
Pipistrelle sp.	316	758
Pipistrelle de Nathusius	303	1 662
Pipistrelle de Kuhl	221	471
Noctule de Leisler	186	753
Pipistrelle pygmée	176	455
Noctule commune	147	1 616
Vespère de Savi	57	344
Pipistrelle commune / pygmée	40	412
Sérotine commune	38	130
Sérotine bicolore	11	217
Sérotine isabelline	0	120
Sérotine commune / isabelline	0	115

Annexe 6 : Fiches de saisie standardisées de la mortalité du parc éolien de Bourbriac

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX			
Nom du parc éolien : BOURBRIAC			
Point n° 1	Date : 13 juin 2022	Heure : 14:13	Nom du découvreur : VIBERT Laëtitia
Localisation : Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 48,4990039 Longitude : -3,2415448 Numéro de l'éolienne la plus proche : E1 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 54 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : SO Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : bordure champ de maïs			
N° de photos : 20220613_BOURBRIAC_E1_CORNEILLE_NOIRE1_1 à 7			
Description et identification : Taille de l'oiseau (ailes déployées) : NA Particularités (couleur, forme quelconque) : noir aux reflets bleutés rémiges et rectrices (plumes des ailes et de la queue) encore en fourreau -> Immature Identification (famille, espèce si possible) : Corneille noire (Corvus corone)			
Etat de l'individu : <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment			
Etat du cadavre : <input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) : Collision			
COMMENTAIRES : Individu 1CY (première année civile, i.e. immature né cette saison de reproduction), vraisemblablement issu du nid situé sur le pylône au sud-ouest de l'éolienne			

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX			
Nom du parc éolien : BOURBRIAC			
Point n° 2	Date : 13 juin 2022	Heure : 14:15	Nom du découvreur : VIBERT Laëtitia
Localisation : Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 48,4991000 Longitude : -3,2412390 Numéro de l'éolienne la plus proche : E1 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 40 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : S Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : bordure champ de maïs			
N° de photos : 20220613_BOURBRIAC_E1_CORNEILLE_NOIRE2_1 à 4			
Description et identification : Taille de l'oiseau (ailes déployées) : NA Particularités (couleur, forme quelconque) : plumée de plumes noires aux reflets bleutés plumes encore en fourreau -> Immature Identification (famille, espèce si possible) : Corneille noire (Corvus corone)			
Etat de l'individu : <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input checked="" type="checkbox"/> Fragment			
Etat du cadavre : <input type="checkbox"/> Frais <input checked="" type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) : Collision			
COMMENTAIRES : Individu 1CY (première année civile, i.e. immature né cette saison de reproduction), vraisemblablement issu du nid situé sur le pylône au sud-ouest de l'éolienne			



FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE CHAUVES-SOURIS			
Nom du parc éolien : BOURBRIAC			
Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
3	20 juin 2022	14:32	VIBERT Laëtitia
Localisation : Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 48,4991916 Longitude : -3,2365082 Numéro de l'éolienne la plus proche : E3 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 34 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : SO Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : plateforme			
N° de photos : 20220620_BOURBRIAC_E3_PIPISTRELLE_COMMUNE 1 à 3			
Description et identification : Taille de la chauve-souris (ailes déployées) : AB : 32 mm D3 : 55 mm D5 : 41 mm Particularités (couleur, forme quelconque) : / Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)			
Etat de l'individu : <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input type="checkbox"/> Blessure apparente <input checked="" type="checkbox"/> Sans blessure visible			
Etat du cadavre : <input type="checkbox"/> Frais <input checked="" type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) : Collision ou barotraumatisme			
COMMENTAIRES :			